TRATTATO TEORICO-PRATICO

DELLE MALATTIE

DELLA

REFRAZIONE OCULARE

STATICA E DINAMICA

PER

CARLO REYMOND

PRIMO ASSISTENTE DELL' OSPEDALE OFTALMICO ED INFANTILE DI TORINO
COADIUTORE DELLA CLINICA OFTALMOLOGICA
MEDICO-CHIRURGO ORDINARIO NELL'OSPEDALE DELLA PICCOLA CASA
DELLA DIVINA PROVVIDENZA



TORINO
TIPOGRAFIA V. VERCELLINO
1866.

Ho diviso questo trattato in due parti. Nella prima (di cui pubblico ora il 1° fascicolo) espongo le nozioni che io credo più essenziali per l'interpretazione dei fatti patologici. La seconda parte tratterà delle anomalie della refrazione *statica* e *dinamica*, studiandole pure nei loro rapporti colle altre affezioni oculari.

Il titolo stesso indica che non ho voluto fare un lavoro originale; ma il vasto campo clinico nel quale faccio i miei studi sotto la direzione del Prof. Sperino, mi permetterà non di rado di parlare secondo la mia sperienza, e sovratutto d'interpretare gli insegnamenti del mio Illustre e Venerato Maestro.

A fare sì che la mia opera riesca di comune utilità, ho fatto stampare con *caratteri* più minuti le dimostrazioni matematiche o fisiologiche le quali offrono minore importanza pratica. Nelle pagine scritte con *tipi* di maggiore estensione il lettore troverà un sunto delle mie lezioni sulle malattie della refrazione oculare, che da cinque anni insegno nell'Ospedale oftalmico ed infantile di Torino. Ho scelto questo metodo nell'intento di offrire pure alla Gioventù studiosa un trattato elementare e pratico delle malattie dell'adattamento e e della refrazione, il cui bisogno è generalmente sentito nelle nostre Scuole.

I lavori monumentali di Helmholtz e di Donders hanno arrecato una vera rivoluzione nello studio della funzione dell'apparecchio diottrico oculare. Le dimostrazioni adottate da questi autori poggiano tutte sulla *riduzione* dell'occhio fatta da Listing, secondo il sistema di Gauss. Ho creduto perciò conveniente di far precedere il mio lavoro dall'esposizione delle formole generali di questa riduzione; il Matematico potrebbe giudicare questo saggio incompleto e forse poco ordinato; il Pratico intenderà che non ho voluto presentargli che i risultati ultimi del calcolo.

In questo lavoro ebbi a lottare contro una doppia serie di difficoltà: quelle di un argomento difficile ed importante, e quelle, forse non minori per me, di una lingua che non fu sempre la mia.

È quanto dire, che non posso illudermi sul valore della mia opera, e che pubblicandola faccio assegno sulla benevolenza dei miei lettori.

Torino, aprile 1866.

PARTE PRIMA

GENERALITÀ.

CAPITOLO I.

Nozioni generali sulla refrazione dei raggi luminosi.

---

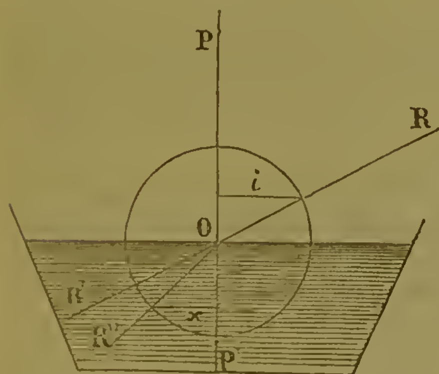
§ 1°

REFRAZIONE.

I raggi luminosi i quali incontrano obliquamente la superficie di un corpo trasparente dotato d'una densità diversa da quella del mezzo da cui vengono, deviano dalla loro direzione primitiva, rimanendo però nel piano d'incidenza. Essi si avvicinano verso la perpendicolare abbassata dal punto d'incidenza, quando il mezzo nel quale entrano gode di refrangibilità maggiore che il mezzo dal quale escono; essi se ne allontanano nel caso opposto. Tale deviazione dei raggi luminosi è detta *refrazione*.

Il raggio RO penetrando dall'aria nell'acqua, invece di seguire la sua direzione primitiva R', si avvicina alla perpendicolare o normale OP' abbassata dal punto d'incidenza O, e prende la direzione OR".

Fig. 1.



Dicesi *angolo d'incidenza* l'angolo ROP compreso tra il raggio incidente RO e la perpendicolare PO elevata dal punto d'incidenza; P'OR", angolo compreso tra il raggio refratto e la perpendicolare al punto d'incidenza, è l'*angolo di refrazione*. Possiamo supporre il raggio d'incidenza inclinato più o meno sulla superficie del mezzo refrangente, ma il rapporto che esiste fra il seno dell'angolo d'incidenza ed il seno dell'angolo di refrazione è immutabile: cioè il seno dell'angolo di refrazione cresce o diminuisce come il seno dell'angolo d'incidenza. Il seno dell'angolo d'incidenza viene misurato dalla perpendicolare i, condotta dal raggio incidente alla normale PP'. Il seno dell'angolo di refra-

zione è misurato da x, perpendicolare condotta dal raggio refratto alla normale PP'.

Supponiamo che un raggio luminoso passi dall'aria nell'acqua; se per una direzione del raggio incidente, il seno dell'angolo d'incidenza è 4, ed il seno dell'angolo di refrazione è 3..... per un'inclinazione maggiore del raggio incidente, il seno dell'angolo d'incidenza essendo 8, cioè il doppio, il seno dell'angolo di refrazione sarà 6, cioè ugualmente il doppio: ognuno dei termini della refrazione aumentando e diminuendo nelle stesse proporzioni a misura che varia l'incidenza, il rapporto rimane invariabile. Nell'esempio arrecato, 4|3 è divenuto 8|6, ed 8|6=4|3. Il rapporto dei seni non è cangiato. Questo rapporto invariabile fra il seno dell'angolo d'incidenza ed il seno dell'angolo di refrazione è detto *indice di refrazione*. Gli indici di refrazione delle varie sostanze vengono calcolati confrontando gli uni con quelli di altre sostanze. L'indice di refrazione dell'acqua è adunque di 4|3 rispetto a quello dell'aria presa per tipo.

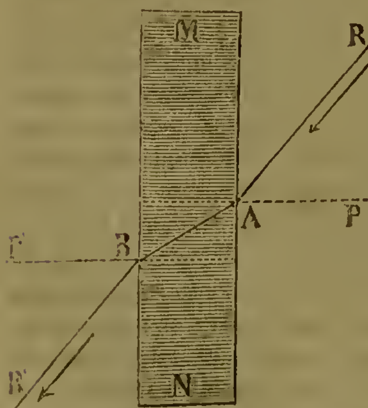
Abbiamo adunque $\frac{\text{seno R}}{\text{seno I}} = \text{N}$; in cui I è l'angolo d'incidenza che fa il raggio colla normale, R l'angolo di refrazione che fa il raggio refratto colla normale, ed N è l'indice di refrazione; d'onde viene tratta la formola, seno $\text{R} = \frac{\text{I}}{\text{N}}$.

§ 2°

REFRAZIONE NEI CORPI LIMITATI DA SUPERFICIE PARALLELE.

Quando la luce attraversa da una parte all'altra un corpo refrangente limitato da superficie parallele, i raggi i quali escono dal corpo (o raggi refratti) seguono una direzione parallela a quella dei raggi incidenti. Sia MN una lamina di vetro con faccie parallele; il raggio R penetra in quel corpo con una certa incidenza, ed attraversandolo, si avvicina alla perpendicolare P elevata dal punto d'incidenza A. Uscendo dal vetro il raggio refratto R' si *allontana* di una quantità precisamente uguale dalla perpendicolare P' elevata dal punto di emergenza B. L'angolo formato dal raggio incidente colla perpendicolare al punto d'incidenza è uguale all'angolo formato dal raggio emergente colla perpendicolare tirata al punto d'emergenza; questi raggi sono adunque paralleli.

Fig. 2.



L'allontanamento parallelo fra il raggio emergente ed il raggio incidente diviene maggiore a misura che il corpo rifrangente a faccie parallele aumenta di spessore. Se detto corpo fosse di spessore minimo, l'allontanamento sarebbe quasi nullo, e la direzione del raggio emergente sarebbe quasi in perfetta continuazione col raggio incidente. L'allontanamento reciproco dei due raggi paralleli, incidente e refratto, dipende dall'indice di refrazione dei corpi attraversati dal raggio luminoso, dalla distanza che separa le due superficie parallele del corpo, e dal grado di obliquità del raggio incidente. Se il mezzo MN fosse composto di più mezzi di densità diverse, ma limitati da superficie parallele, la deviazione del raggio sarebbe essa pure parallela. Chiamando N' il mezzo A, ed Nx il mezzo B, e non tenendo conto dello spessore del corpo MN: questa deviazione $N = N' : Nx$; è dunque in correlazione col primo e l'ultimo mezzo.

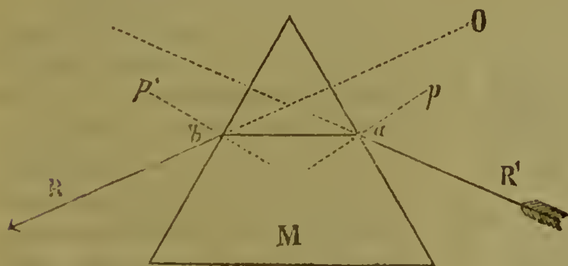
§ 3°

REFRAZIONE NEI CORPI LIMITATI DA SUPERFICIE NON PARALLELE.

Prismi.

Ogni volta che la luce attraversa da una parte all'altra un mezzo refrangente di cui le superficie d'incidenza e di emergenza non sono parallele, il raggio emergente prova un deviamento angolare più o meno notevole. Sia un prisma di vetro M. Il raggio R', refratto nel punto di incidenza *a*, si avvicina alla perpendicolare *p*, ed attraversa il prisma secondo *a b*. Nel punto di emergenza *b*, esso si allontana dalla perpendicolare *p'* e segue la direzione R.

Fig. 3.



Il raggio prova in ognuna delle faccie del prisma una deviazione nello stesso senso. Questa proprietà del prisma spiega perchè, fissando oggetti attraverso un prisma la cui base è collocata in basso, gli oggetti paiono in alto. L'angolo formato all'apice del prisma è detto angolo refrangente: l'oggetto R' è veduto in O, cioè più vicino al detto angolo.

§ 4°

REFRAZIONE NEI CORPI LIMITATI DA UNA SOLA SUPERFICIE SFERICA E CONVESSA.

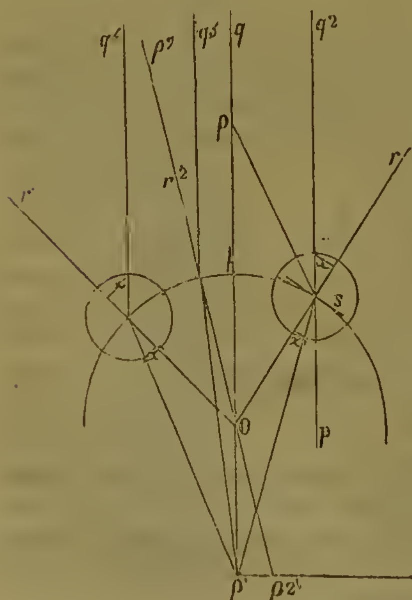
Generalità.

Quando la superficie del mezzo refrangente è convessa, si può considerarla come composta da un'infinità di piccole superficie piane, delle quali tutte le perpendicolari ai piani d'incidenza passerebbero per il centro della sfera, supponendo la superficie convessa un segmento di sfera. Ora è facile di concepire che, qualunque sia l' inclinazione dei raggi i quali, emergendo da un punto luminoso cadono sopra una superficie refrangente di tale natura, quei raggi devono tendere ad avvicinarsi al centro.

Diffatti essi devono avvicinarsi alla normale della loro incidenza sulla superficie in proporzione della grandezza dell' angolo d' incidenza, e questo si fa proporzionatamente maggiore a misura che i raggi luminosi incontrano una regione più periferica della superficie convessa.

Nella fig. 4 i raggi q q^2 q^3 q^4, paralleli fra di loro, cadono sopra la superficie sferica yy di un corpo trasparente più denso e più rifrangente del mezzo dal quale provengono i suddetti raggi (Supponiamo, p. es., che i raggi si portino dall'aria nell'umore acqueo).

Fig. 4.



Or', *Or*, sono i raggi di sfera: essi sono cioè le perpendicolari di ognuna delle superficie piane ideali, sulle quali cadono i raggi q^4 q^2 ecc.....

q cade sul centro di sfera h, e non è altro che il prolungamento della linea O*h* perpendicolare alla superficie, sulla quale esso cade: esso non è deviato e prosegue il suo cammino per *Op'*..... (§ 1°).

Il raggio q^2 invece cade obliquamente sulla superficie imaginaria *s*, ed alla perpendicolare, o raggio di

sfera corrispondente r. — L'angolo $q2sr$ è l'angolo d'incidenza. — L'angolo di rifrazione O sp' non deve essere uguale all'angolo d'incidenza (§ 1°), l'indice di rifrazione dell'acqua essendo maggiore dell'indice di rifrazione dell'aria; il raggio refratto dovrà avvicinarsi alla normale in proporzione dell'indice di rifrazione. Il seno x' dell'angolo di rifrazione O sp' dovrà essere minore del seno x dell'angolo d'incidenza.

Lo stesso dicasi pei raggi q^3 q^4, dei quali è facile di seguire l'andamento sulla figura.

Come vedesi, tutti i raggi paralleli a q vengono ad incrocicchiare il prolungamento del raggio q nel punto p'.

Ognuno intenderà facilmente che i raggi, i quali cadrebbero (sulla superficie convessa) paralleli alla linea $p2$ $p2'$, verrebbero ad incrocicchiarsi sul prolungamento della stessa linea (perpendicolare o prolungamento del raggio di sfera), nel punto $p2'$.

Il raggio q p' il quale continua il suo tragitto in O e p' senza essere deviato, è detto *asse* del fascio luminoso rappresentato dai raggi q q^2 q^3 q^4. Il punto p' dell'asse nel quale tutti i raggi del fascio s'incrocicchiano dopo la refrazione è detto *punto focale posteriore* del fascio.

$p2$ $p2'$ sarebbe l'asse, o raggio non deviato di un fascio di raggi i quali partirebbero dallo stesso punto da cui parte quel raggio; $p2'$ sarebbe il *punto focale posteriore* del suddetto fascio.

Supponiamo ora che i raggi abbiano una direzioue inversa, che si portino cioè dall'umore acqueo nell'aria. Essi passeranno pertanto da un mezzo più refrangente in un mezzo meno refrangente, e tutti i raggi (salvo l'asse del fascio) dovranno, all'entrare nell'aria, allontanarsi dal raggio di sfera (o perpendicolare). Sia (fig. 4ª) il raggio ps, parallelo a $p'h$: esso si allontana dalla perpendicolare rs, e viene ad incrocicchiare l'asse in p. Così dicasi di tutti gli altri raggi paralleli a p' h.

p è adunque un altro punto focale il quale è detto *anteriore*.

Adunque; chiamando asse principale del sistema la linea $phOp'$ la quale passa pel *centro di curva* della superficie convessa (h) e nel centro di sfera (O), o punto nodale degli assi, possiamo dire che:

a) Ogni raggio, il quale nel primo mezzo è parallelo all'asse principale, passa dopo la refrazione nel punto p', il quale trovandosi sull'asse principale, è detto *punto focale posteriore principale*;

b) Ogni raggio, il quale nel secondo mezzo corre parallelo all'asse principale, deve, dopo la sua refrazione, passare nel primo mezzo pel punto p; questo punto è detto *punto focale anteriore principale*, perchè trovasi sull'asse ed in avanti del sistema;

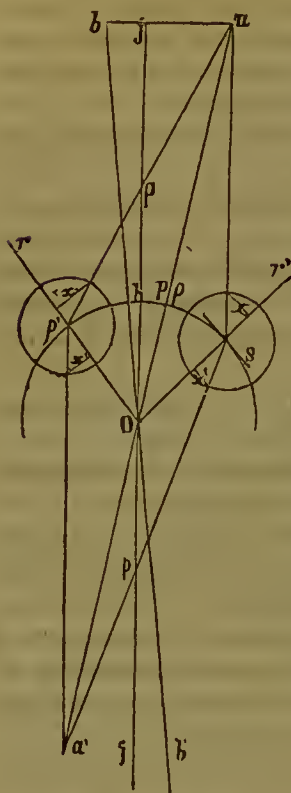
c) Ogni raggio che parte da p, o passa per p (punto focale principale anteriore), dopo la refrazione corre nel secondo mezzo parallelo all'asse principale;

d) Ogni raggio che passa per p', o ne parte, corre dopo la refrazione, parallelo all'asse, nel primo mezzo.

Abbiamo supposto tutti i raggi del fascio luminoso paralleli fra di

loro; essi possono essere divergenti fra di loro. Dal punto a (fig. 5) parte un fascio di raggi luminosi (rappresentato da 3 raggi) fra loro divergenti. Il raggio a non è deviato nell' attraversare la superficie convessa, perchè esso non è altro che la continuazione di un raggio di sfera (Op), o perpendicolare. Esso si porta direttamente nella linea aa'. Tutti gli altri raggi cadono invece obliquamente sulla superficie convessa. Così il raggio as sarà refratto e si avvicinerà alla normale Os, in proporzione dell'indice di rifrazione e dell'obliquità sua colla superficie d'incidenza. Vedesi adunque, che tutti i raggi luminosi, i quali partono da a, formano un fascio di raggi luminosi, i quali cadono divergenti sulla superficie convessa; dopo la refrazione essi convergono tutti verso un punto a' dell'asse o raggio $a'a$, il quale non ha cambiato direzione. Il punto a' è un punto focale posteriore.

Fig. 5.



Bene s'intende che tutti i raggi, i quali partirebbero dal punto a' dovrebbero dopo la rifrazione riunirsi sull'asse in a, il quale sarebbe un punto focale anteriore.

Per vedere dov' è l'incrocicchiamento (dopo la refrazione) del raggio ap' colla linea, od asse aa', non abbiamo che da ricordarci, che tale raggio, passando per P (punto focale principale anteriore), deve uscire dall' altro lato parallelo all' asse *principale.*

L' asse aa' è detto *asse secondario*, ed il fascio che appartiene a quell' asse è un *fascio secondario.*

COROLLARI.

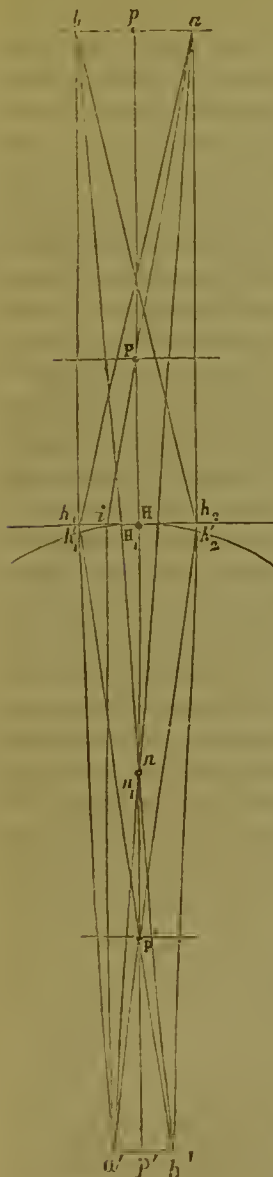
Una linea retta abbassata da un mezzo all'altro perpendicolarmente al polo della superficie limitante i due mezzi, è detta *asse principale del sistema* (fig. 6 pp').

La superficie convessa è detta *anteriore;* la superficie concava è detta *posteriore:* il *primo mezzo* di refrazione corrisponde alla superficie anteriore; il *secondo mezzo* corrisponde all'altra superficie.

Se da un punto luminoso, sito nel primo mezzo, viene emesso un fascio diretto alla prima superficie, noi troviamo in questo fascio un raggio, il quale è detto *asse* del fascio, perchè esso ne indica la direzione. La direzione dell'asse è indicata dal punto n dell'asse principale del sistema,

il quale è il punto d'incrocicchiamento comune a tutti gli assi dei fasci emessi nel primo mezzo e diretti alla prima superficie (fig. 6).

Fig. 6.



Se noi consideriamo i fasci luminosi dopo la loro refrazione, noi troviamo egualmente in ognuno di questi un asse, il quale indica la direzione del fascio, al quale esso appartiene. Tutti questi assi hanno un punto comune sull'asse principale verso il quale essi tendono, n^1 (fig. 6). Il punto n dell'asse principale è il punto *nodale anteriore* d'incrocicchiamento delle linee di direzione dei fasci luminosi considerati nel primo mezzo (o prima della refrazione) ed il punto n^1 sito ugualmente nell'asse principale, è il punto *nodale posteriore* di tutte le linee di direzione dei fasci dopo la loro refrazione.

In questo sistema n ed n^1 si confondono l'uno coll'altro.

Un fascio luminoso considerato nel primo mezzo (o se vuolsi prima della refrazione) ha una forma conica, con una base ed un apice; il medesimo fascio ha pure nel secondo mezzo, o dopo la refrazione, una forma conica con un apice, ed una base. Esaminiamo questi due coni, considerando la via che ognuno di essi dovrebbe percorrere nel mezzo al quale appartiene, proseguendo dal loro apice rispettivo verso la loro base.

In ognuno di questi coni noi possiamo immaginarci un'infinità di tagli fatti con piani perpendicolari all'*asse principale* del sistema. Fra questi tagli noi ne troviamo due soltanto, uno cioè per ciascun dei due coni, i quali sieno l'immagine identica e perfetta l'uno dell'altro. Il taglio h^1 h^2 fig. 6) fatto nel primo cono con una perpendicolare h^1 H h^2 all'asse principale pP' del sistema, ed il taglio h'^1 h'^2 fatto nel secondo cono col piano h^1 H h^2 ugualmente perpendicolare all'asse principale, sono due immagini perfettamente identiche l'una coll'altra. Ognuno di questi due piani offre una dimensione uguale, ed in ognuno di questi piani, i raggi luminosi sono disposti nella stessa guisa e negli stessi rapporti reciproci.

Questi due piani sono detti *piani capitali*: uno spetta al cono luminoso prima della refrazione, ed è detto *primo piano capitale;* l'altro è detto *secondo piano capitale*, e spetta al cono luminoso refratto, cioè considerato nel secondo mezzo.

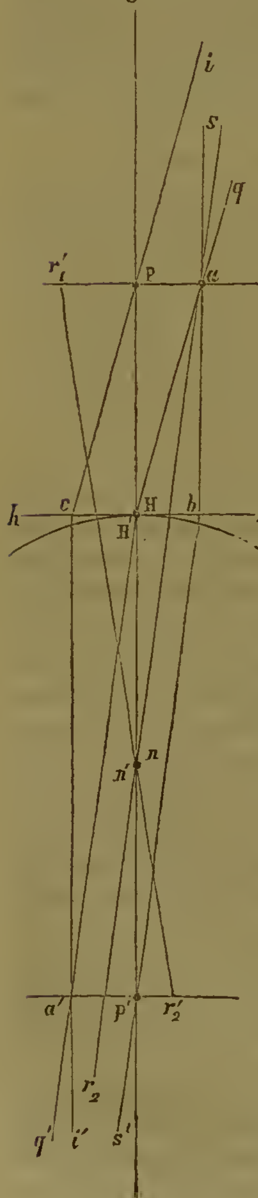
Abbassiamo adunque in H un piano perpendicolare all'asse principale, (h^1 h^2) ed in H' un altro piano ($h^{1'}$ $h^{2'}$) ugualmente perpendicolare all'asse principale. Col piano h^1 h^2 tagliamo tutti i coni luminosi prima della refrazione, e col piano $h^{1'}$ $h^{2'}$ supponiamo tagliati i medesimi coni dopo la loro

refrazione; noi vediamo che il taglio d'ogni cono prima della refrazione (h^1 h^2) avrà la sua immagine esatta nel taglio ($h^{1'}$ $h^{2'}$) dopo la refrazione. Il punto H' sito nell'asse principale, è l'immagine ottica del punto H pure dell'asse principale; cioè, tutti i raggi, i quali nel primo mezzo passano per H, passano nel secondo mezzo per H', e questi punti dell'asse principale sono pure i soli che offrono questa particolarità. H è detto *punto capitale primo*, ed H' è chiamato *secondo punto capitale.*

Punti cardinali.

Proseguendo adunque dall' avanti all' indietro, noi troviamo nell'*asse principale* di questo sistema diottrico, alcuni punti e linee che potranno orizzontarci sempre nella costruzione delle immagini. Sia (fig. 7):

Fig. 7.



a) *Punti nodali* (n', n). Tutti i raggi i quali prima della refrazione sono diretti verso il primo punto nodale n, non sono deviati nella loro direzione, e continuano senza variazione il loro corso pel 2° punto nodale n'. Cosichè un raggio il quale nel primo mezzo ha una direzione $r_1' n$, avrà nel secondo mezzo una direzione n' r_2'; $r^{1'} n$ è la prima direzione, $n' r'_2$ è la seconda direzione; n cioè viene diviso idealmente in due, uno pella prima, l'altro pella seconda direzione, o meglio n ed n' trovansi riuniti ed identici in questo sistema.

b) *Punto capitale. Piani capitali.* Noi possiamo supporre il punto capitale diviso in due come il punto nodale; il secondo punto capitale è l'immagine del primo: i raggi i quali nel primo mezzo vanno verso il primo punto capitale, vanno dopo la loro refrazione pel secondo.... Piani perpendicolari all'asse sui punti capitali, diconsi *piani capitali*, i quali nel sistema ora studiato sono riuniti. Il secondo piano capitale è l' immagine ottica perfetta del primo; i piani capitali sono cioè le uniche immagini corrispondenti, le quali sieno ugualmente grandi ed ugualmente dirette. La loro sede viene determinata dalla definizione; così in questo sistema, H è la sua propria immagine, come anche il piano capitale hh', tirato perpendicolare all'asse PP'. In altri termini, i piani capitali rappresentano la base dei coni luminosi, prima e dopo la refrazione; la base del cono luminoso prima della refrazione è detta piano capitale *anteriore*; il piano capitale *posteriore* è la base del cono dopo la refrazione. La base dei due coni deve essere presa nel punto di essi, in cui una è l'immagine perfet-

tamente uguale dell'altra, nel sito cioè in cui le due basi sono ugualmente larghe e perfettamente simili. In questo sistema le due basi si confondono insieme, epperciò i due piani capitali si confondono.

c) *Punti focali principali.* Nell'asse principale del sistema, noi troviamo ugualmente due punti: uno spettante ai fasci considerati nel primo mezzo, l'altro spettante ai fasci nel secondo mezzo. Il primo di questi punti è detto *punto focale principale primo* od *anteriore* (P). Ogni raggio, il quale prima della refrazione parte da P o passa per P, corre dopo la sua refrazione parallelo all'asse principale: *ipc* dopo la sua refrazione prende la direzione *ci'* parallela con PP'.... Viceversa i raggi i quali hanno nel secondo mezzo una direzione parallela coll'asse principale, devono, passando dal secondo mezzo nel primo, passare per P.

Pei fasci considerati nel secondo mezzo, noi abbiamo adunque ugualmente nell'asse principale un punto focale principale P', detto *posteriore* o *secondo.*

Un raggio per passare per P' deve nel primo mezzo essere parallelo coll'asse principale, e viceversa ogni raggio, il quale dirigentesi dal secondo nel primo mezzo, passa per P', corre nel primo mezzo parallelo all'asse principale.

d) *Piani focali principali.* Se noi supponiamo un piano perpendicolare ai punti focali *P* e *P'*, abbiamo due *piani focali principali*: *anteriore* e *posteriore* (oggetto e sua immagine). Tutti i raggi luminosi i quali prima della refrazione partono da un medesimo punto del primo piano focale principale, divengono dopo la refrazione paralleli fra di loro (*qa*II, ed S*ab* escono paralleli nel 2° mezzo); e siccome, giusta la definizione, un raggio diretto da un punto luminoso verso il punto nodale conserva dopo la refrazione la sua primitiva direzione, così devono tutti i raggi che sono partiti da un medesimo punto del piano focale anteriore *a*, o che passano per esso, essere dopo la loro refrazione paralleli al raggio *a n*, da che quel punto del piano focale è diretto verso il punto nodale.

Fochi e piani congiugati.

a) Positivi. Quando un fascio luminoso dirigentesi dal primo nel secondo mezzo parte da un punto dell'asse principale, tutti i raggi di questo fascio tendono pure, dopo la loro refrazione, verso un punto comune dell'asse principale; questi due punti sono congiugati. Se dal punto *p* (figura 6) parte un fascio luminoso, la linea di direzione del fascio nel primo mezzo è indicata dalla linea *pn*, e nel secondo mezzo dalla linea n^1 *p,'* l'una e l'altra confondentisi coll'asse principale; e *p p'* sono congiugati, perchè i raggi di un fascio emesso da *p*, si riuniscono in *p'* dopo la loro refrazione, e viceversa i raggi di un fascio emanato da *p'* e dirigentisi dal secondo al primo mezzo devono riunirsi in *p*. *p* è detto punto focale congiugato *anteriore* o *primo*. perchè appartiene ai

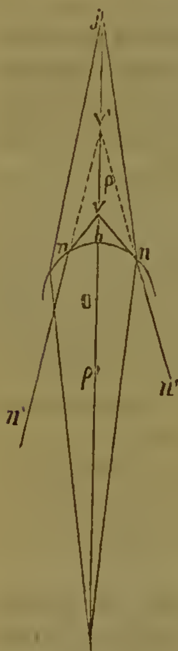
raggi considerati nel primo mezzo e prima della loro refrazione; nell'esempio che precede, esso è positivo perchè trovasi pure nel primo mezzo ...*p'* è detto punto focale congiugato *posteriore* o *secondo*, perchè appartiene ai raggi dopo la loro refrazione, cioè veduti nel secondo mezzo, ed è pure *positivo* perchè è sito realmente nel secondo mezzo, al quale esso appartiene.

Piani perpendicolari all'asse principale, ed abbassati per *p* e per *p'* sono detti *piani focali congiugati.* Ogni fascio emanato da un punto del primo piano focale congiugato, si dirige, dopo la refrazione, verso un medesimo punto del secondo piano congiugato (fig. 6 *b b'* ed *a a'*); viceversa un fascio emanato da *a'* dirigentesi sul primo mezzo, si riunisce dopo la refrazione in *a*.

Facilmente s'intende, che il foco congiugato di P (*foco ant. princ.)* trovasi all'infinito. Lo stesso dicasi di P' (*foco post. princ.*).

b) *Fuochi virtuali o negativi.* — Quando un fascio luminoso parte da un punto collocato tra il fuoco principale anteriore *p* e la superficie anteriore, i raggi si avvicinano ugualmente alla perpendicolare, ma rimangono però ancora divergenti (fig. 8ª *vn'*), e non formasi vero foco; i raggi che prima della refrazione partivano da *v*, hanno dopo refrazione una direzione tale che verrebbero a riunirsi in *v'*, supponendoli prolungati in avanti.

Fig. 8.



La distanza focale (da *h* a *v'*) è detta *negativa*, perchè il fuoco, invece di formarsi dietro la superficie di refrazione, si forma in avanti di essa, cioè in senso inverso. Facilmente s'intende che l'immagine non si forma più capovolta ma diritta nel piano focale congiugato. (*Vedi fig.* 27 *e* 28).

Si vede in questa figura 8 la differenza che passa fra i punti focali coniugati negativi ed i punti focali congiugati positivi. J*j'* sono punti focali congiugati positivi, *v* e *v'* sono negativi.

c) *Immagini.* — Se l'oggetto dal quale partono i raggi luminosi ha una certa estensione, ognuno dei suoi punti manda un fascio luminoso distinto. Ogni fascio luminoso *secondario* o *principale* ha dietro la superficie convessa e nel piano focale congiugato il suo punto ocale, e l'insieme di tutti questi punti focali forma un'immagine in cui ogni punto dell'oggetto viene rappresentato.

Sieno 3 punti presi sulla superficie *bpa* (fig. 6). Ognuno di quei tre punti manda raggi in ogni direzione; ma i soli raggi di cui dobbiamo occuparci sono quelli che sono compresi nell'arco della superficie convessa, perchè essi sono i soli, i quali dopo la refrazione riprodurranno dietro la superficie l'immagine dei punti dai quali emanano. Ognuno dei punti *apb* manda alla superficie convessa un cono (fascio luminoso di forma conica), di cui l'apice è rivolto al punto luminoso, e la base alla superficie convessa. I raggi luminosi che ogni punto dell'oggetto manda ad una

superficie sferica rappresentano adunque un vero cono luminoso. Ognuno dei raggi di questi coni sarà rifratto secondo le leggi indicate, ed i coni si riuniranno in fuochi distinti, in modo che ogni punto focale corrisponda ad un punto luminoso primitivo. Quello che diciamo di tre punti luminosi, lo dobbiamo dire del numero indefinito di punti luminosi compresi nella superficie *ab*. Quei punti diversi, riprodotti in *a'p'b'* dietro la superficie convessa, danno l'immagine dell'oggetto.

Siano (fig. 6ª) *bap* punti dell'oggetto *ba*. Ogni punto di esso manda sulla superficie un cono luminoso (bh_1h_2, ah_1h_2, ecc.), colla sua base alla superficie convessa. Siccome ogni cono contiene un numero infinito di raggi, così abbiamo in ogni cono un raggio il quale essendo diretto verso il punto *n*, o pel centro di sfera, non è deviato, e rappresenta l'asse del fascio al quale appartiene (*aa'* e *bb'*).

Si vede adunque che quando non si cerca che un risultato, si può fare astrazione del cono luminoso, e non tener conto che del raggio del cono, il quale passa pel centro di sfera. Siccome ogni cono luminoso termina in un solo punto nell'immagine, così l'asse del cono (raggio che passa pel centro di sfera) riassume in sè tutto il cono luminoso.

Si osserverà ancora, che l'immagine la quale formasi dietro la superficie di rifrazione, è capovolta. Questa è la conseguenza naturale della proprietà di refrazione dei corpi limitati da superficie sferiche e della direzione rettilinea degli assi (o raggi di curva) che passano pel centro di sfera. Si capisce che il punto collocato sull'asse principale del sistema occupa una posizione relativa uguale, nell'oggetto e nell'immagine.

Determinazione dei punti e piani principali e delle immagini.

È possibile, con semplici dimostrazioni geometriche, di determinare la sede che i punti principali devono occupare nel sistema.

Se noi, p. es., paragoniamo (fig. 4) il *sen. x*, dell'angolo $q^2\,sr$ nel primo mezzo, il cui indice di refrazione=N, col *sen. x'* dell'angolo P'*s*O nel secondo mezzo avente un indice di refrazione=N', noi troviamo che N *sen. x*=N' *sen. x'*.

Con questi dati sono conosciuti due lati del triangolo O*s*P', cioè il lato P'*s*, o distanza dietro il secondo piano capitale, in cui il raggio q^2 (dopo la sua refrazione) incontra il punto *P'* dell'asse principale del sistema, ed il lato O*s*, o distanza che separa il secondo punto capitale dal secondo punto nodale delle linee di direzione dei fasci refratti. Il lato *P'*O di questo triangolo indica la distanza che separa *P'* dall'asse principale (foco principale posteriore) da O (centro di direzione dei fasci dopo la refrazione).

Ugualmente paragonando (fig. 5) il *sen. x'* dell'angolo *a'p'*O, col *sen. x* dell'angolo *rp'a*, noi conosceremo il punto P dell'asse, e del 1º mezzo verso il quale tende il raggio *a'p'*. Conoscendo adunque i due lati (*p'*P

ed *Op'*) del triangolo OP*p'*, si è possibile di conoscere il lato OP di questo triangolo.

Collo stesso procedimento si può trovare la dimensione delle immagini.

In questo modo vennero stabilite le formole seguenti: (V. fig. 6)

1ª formola $nP = H'P'$ ed $HP = n'P'$

2ª formola $nP' = \frac{N \times nH}{N' - N}$ ed $nP = \frac{N' \times nH}{N' - N}$

(N rappresenta l'indice di refrazione del primo mezzo, ed N' l'indice di refrazione del secondo mezzo).

3ª formola $\frac{HP}{Hp} + \frac{H'P'}{H'p'} = 1$ ed $\frac{nP}{np} + \frac{n'P'}{n'p'} = 1$

Così pure noi troviamo il rapporto che esiste tra le dimensioni di un oggetto e le dimensioni della sua immagine coll'equazione.

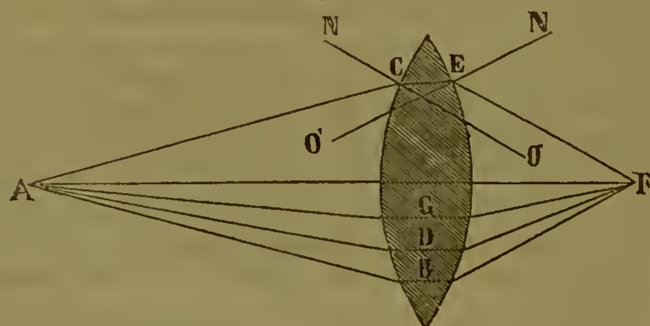
Form. 4ª $a'p'b' : apb :: P'p' : P'H' :: n'p' : np :: H'P' - H'P' : H'P' :: HP : HP - Hp.$

§ 5°

REFRAZIONE TOTALE DEI RAGGI LUMINOSI CHE ATTRAVERSANO CORPI LIMITATI DA DUE SUPERFICIE SFERICHE.

1° — Quando i raggi luminosi hanno da attraversare una lente, cioè un corpo limitato da superficie sferiche, e dotato d'un indice di refrazione diverso dall'indice di refrazione del mezzo dal quale partono e nel quale entrano in ultimo, si possono verificare le stesse modificazioni nella loro direzione, le medesime leggi presiedendo alla loro refrazione. Una semplice figura fa comprendere questa proprietà delle lenti (fig. 9ª):

Fig. 9.

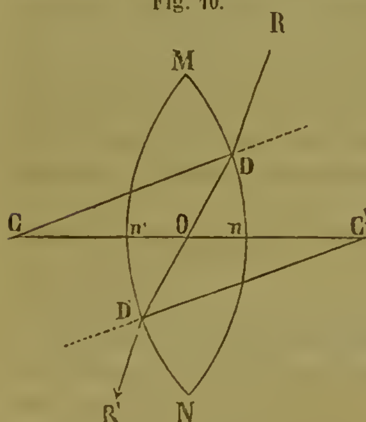


Sia A un punto luminoso collocato al davanti di una lente; fra i raggi che il punto A manda in ogni direzione, scegliamo il raggio AC. Giunto

al punto C, quel raggio incontra la lente sotto una certa incidenza. Penetrando nel vetro, la di cui refrangibilità è maggiore di quella dell'aria, il raggio AC si avvicina verso la perpendicolare al punto d'incidenza NO, senza abbandonare il piano d'incidenza: la sua direzione era AC, e diviene CE. Il raggio CE, giunto al punto di emergenza E, passa dal vetro nell'aria; la refrangibilità dell'aria essendo minore di quella del vetro, il raggio si allontana dalla perpendicolare al punto d'emergenza N'O', e prende la direzione EF; e così avviene pei varii raggi BDG: il punto F, collocato sul prolungamento dell'asse della lente, è il foco dove tutti quei raggi vanno a convergere. In quanto al raggio che passa secondo l'asse della lente (AF), il suo angolo di refrazione è nullo, perchè l'angolo d'incidenza è nullo; eppereiò esso segue la sua direzione primitiva.

Se una lente avesse una forma perfettamente sferica, ben si capisce che gli assi secondari non sarebbero deviati, perchè i punti di incrocicchiamento dei raggi di curva d'una superficie si confonderebbero col punto d' incrocicchiamento dei raggi di curva dell' altra superficie; ma le nostre lenti non hanno questa forma, epperciò tutti gli assi secondari sono deviati. Le lenti godono di una proprietà che viene constatata con una semplice dimostrazione geometrica, ed è che ogni raggio incidente, qualunque ne sia l'incidenza, *quando passa pel centro* (*ottico*) *d'una lente biconvessa*, esce parallelo a se stesso, e si comporta come se avesse attraversato un corpo refrangente limitato da superficie parallele. Sia (fig. 10ª) una lente MN; C e C' sono i centri di curva delle faccie della lente. Tiriamo dai centri di curva C e C' i raggi CD e C'D', in modo che questi raggi sieno fra loro paralleli. Supponiamo in D un piano tangente alla lente (per conseguenza perpendicolare a CD); supponiamo in D' un altro piano tangente alla lente (per conseguenza perpendicolare a C'D'): questi due piani sono evidentemente paralleli fra di loro. Il raggio luminoso R entra ed esce dalla lente per due punti collocati sovra due piani paralleli; questo raggio adunque uscendo dalla lente conservasi parallelo alla sua prima direzione. La deviazione che subisce quel raggio non è una deviazione angolare, ma solo una deviazione parallela.

Fig. 10.

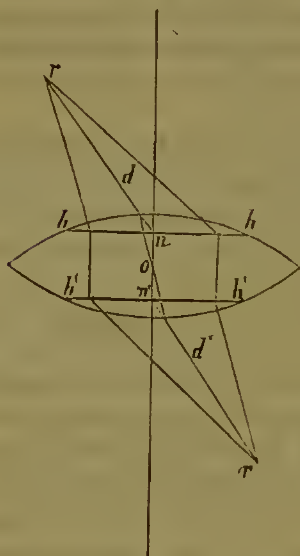


Se noi esaminiamo la direzione del raggio RD, vediamo che esso è diretto verso un punto dell'asse *n*. È facile di figurarsi che tutti i raggi, i quali nella lente passano pel centro ottico O, devono essere diretti prima della refrazione verso il punto *n*. È questo un punto nodale delle linee di direzione dei fasci luminosi prima della refrazione. Vediamo ugualmente che il medesimo raggio refratto D'R' è diretto verso un secondo punto dell'asse centrale *n'*, e che ogni raggio che ha passato pel centro

ottico tende, dopo la refrazione ultima, verso quel punto *n'* il quale è il punto nodale delle linee di direzione (od assi) dei fasci dopo la refrazione. Nel primo sistema diottrico (semplice superficie convessa) avevamo un solo punto nodale degli assi o linee di direzione, ora ne abbiamo due e divisi dallo spazio *nn'*; *n'*, o secondo punto nodale, è l'immagine ottica di *n*, o primo punto nodale.

n e *n'* rappresentano ugualmente i punti capitali, ed i piani *hh* ed *h'h'* abbassati in questi perpendicolarmente all'asse (fig. 11) sono i piani capitali.

Fig. 11.



Questi piani sono un'immagine ottica l'uno dell'altro: l'uno della base di un cono prima della refrazione, l'altro di una base uguale e simile dello stesso fascio luminoso dopo la refrazione. Il piano capitale posteriore *h'h* è la base di un cono preso dopo la refrazione, in cui noi troviamo l'immagine perfetta della base *hh* di un cono del medesimo fascio presa prima della refrazione; esse sono nel sistema le uniche immagini ottiche ugualmente grandi ed ugualmente dirette.

Nel primo sistema avevamo un sol punto nodale delle linee di direzione dei fasci; in questo sistema invece ne abbiamo due. Ogni fascio ha prima della refrazione il suo asse diretto in *n*, e lo ha diretto in *n'* dopo la refrazione; perciò i fasci sono naturalmente deviati come il loro asse, il quale rimane parallelo alla sua direzione primitiva. Lo stesso dicasi dei punti e piani capitali i quali devono pure essere divisi; noi abbiamo veduto infatti che la distanza che separa i due punti nodali deve essere uguale alla distanza che separa i due punti capitali (§ 4°).

I fochi, tutti i punti cardinali sono misurati come nel primo sistema. La distanza *rh* è la prima distanza focale; *r'h'* è la seconda distanza focale. Non esiste distanza tra *n* e *h*, nè tra *n'* ed *h'*, cioè essi sono riuniti. La distanza che separa i punti capitali varia, s'intende facilmente, a seconda della curva delle faccie della lente. Inoltre essi non sono in uguale distanza dalla superficie, ma divengono più vicini alla faccia di cui il raggio di curva è minore. La loro posizione varia eziandio a seconda dell'indice rispettivo dei mezzi in cui passano i raggi luminosi.

Determinazione dei punti nodali.

Supponendo determinata la posizione di O (fig. 11), è facile di determinare la sede dei punti *n* ed *n'*. Supponiamo infatti dal punto O partire un raggio *Od* diretto verso il lato *d*, cioè dal mezzo O al mezzo

d. Il mezzo O è il secondo mezzo (V. § 4 Corollarii), ed il mezzo *d* è il primo mezzo. Questo raggio O*d*, dopo la sua refrazione, cioè nel mezzo *d* avrà una direzione *rn*; *n* è adunque il fuoco congiugato anteriore (*virtuale*) di O.

Ugualmente, se da O parte un raggio O*d'* diretto dal mezzo O (2° mezzo) nel mezzo *d'* (1° mezzo), la direzione del raggio O*d'* diviene *r'n'*; *n'* è adunque il fuoco congiugato anteriore di O.

Conoscendo i punti cardinali di ognuna di queste superficie ci sarà facile colla formola 3ª, di dedurre dapprima la posizione di *n*, e poi quella di *n'*. Diciamo h^1 il punto capitale... p^1 il primo e $p^{1'}$ il secondo punto focale principale del 1° sistema (formato dai mezzi O e D separati dalla superficie convessa *hh*) e siano h^2 il punto capitale ,... p^2 il primo, $p^{2'}$ il secondo punto focale principale del 2° sistema (mezzi O e D'') separati dalla superficie convessa *h'h'*;... noi avremo secondo la formola 3

$$\frac{h^1\,p^1}{h^1\,n}+\frac{h^1\,p^{1'}}{h^1\,O}=1' \text{ ed } \frac{h^2\,p^2}{h^2\,n}+\frac{h^2\,p^2}{h^2\,O}=1,$$

per conseguenza,

$$h^1\,n=\frac{p^1\,h^1\times Oh^1}{Oh^1-p^{1'}\,h^1} \text{ form. 5ª, ed } h^2\,n'=\frac{p^2\,h^2\times Oh^2}{Oh^2-p^{2'}\,h^2} \text{ form. 6ª.}$$

Dopo queste considerazioni rimane facile determinare la sede di questo punto O, detto ordinariamente *centro ottico*. Questo sistema è composto di due sistemi simili al sistema studiato nel § 4. Il primo di questi sistemi ha un primo mezzo *d* ed un secondo mezzo O separati da una superficie convessa; il secondo sistema è pure composto da un primo mezzo *d'* e da un secondo mezzo O. Se nel primo sistema (O*d*) parte un raggio *nd* diretto dal 2° nel primo mezzo, questo raggio dopo la refrazione è diretto in O;... O è adunque un fuoco congiugato anteriore (f^1) del primo sistema, trovantesi nell'asse principale del sistema composto. Supponiamo ora nel secondo sistema (O*d'*) partire da *n'* un raggio *n'd'*, questo raggio sarà nel primo mezzo (*d'*), ugualmente diretto verso il medesimo punto O, il quale è pure un foco congiugato anteriore (f_2) del secondo sistema.

O è adunque un fuoco congiugato anteriore comune di due sistemi. Diciamo F^1 la distanza focale anteriore principale del 1° sistema ed F^2 la distanza focale anteriore principale del 2° sistema, noi possiamo tirare la formola:

Formola 7ª $f_1 : f^2 :: F^1 : F^2$

in cui f^1 = la distanza focale congiugata anteriore del 1° sistema dal punto capitale, ed f^2 la distanza focale congiugata anteriore del 2° sistema.

Vale a dire, che per conoscere la sede di O si deve dividere la distanza che separa il polo delle due superficie HH e H'H' in due parti proporzionate al fuoco principale anteriore del sistema al quale appartengono.

Se i mezzi *d* e *d'* hanno un indice di refrazione, uguale F^1 ed F^2 sono proporzionati al raggio di curva delle superficie *d* e *d'* ed allora il punto

O viene trovato col dividere semplicemente la distanza che separa i poli di queste due superficie in due parti proporzionate al loro raggio di curva. Infatti (fig. 10) per determinare la sede di questo punto, quando la curva delle due superficie è uguale, basta osservare che i triangoli DOC e D'OC' sono uguali, e che OC = OC';... se le curve non sono uguali, i triangoli DOC e D'OC' sono però sempre simili, e calcolando le distanze CO o C'O, si conoscerà la sede del punto O. Vedremo però che questo calcolo non è esatto se il mezzo che trovasi al davanti della lente ha un indice di refrazione diverso dal mezzo che trovasi dietro la medesima.

Così chiamando h^1 il polo della prima superficie, h^2 il polo della seconda superficie, noi avremo nel caso che *d* e *d'* (fig. 11) abbiano un indice di refrazione uguale:

Formola 8ª $oh^1 : oh^2 :: r : r'$,

in cui *r* indica il raggio di curva della prima, ed *r'*, il raggio di curva della seconda superficie; e nel caso in cui l' indice di refrazione del mezzo *d* non sia uguale all'indice di *d'*, noi avremo:

Formola 9ª $oh^1 : oh^2 :: F^1 : F^2$.

formola la quale è ugualmente applicabile al primo caso.

Determinazione dei punti e dei piani capitali.

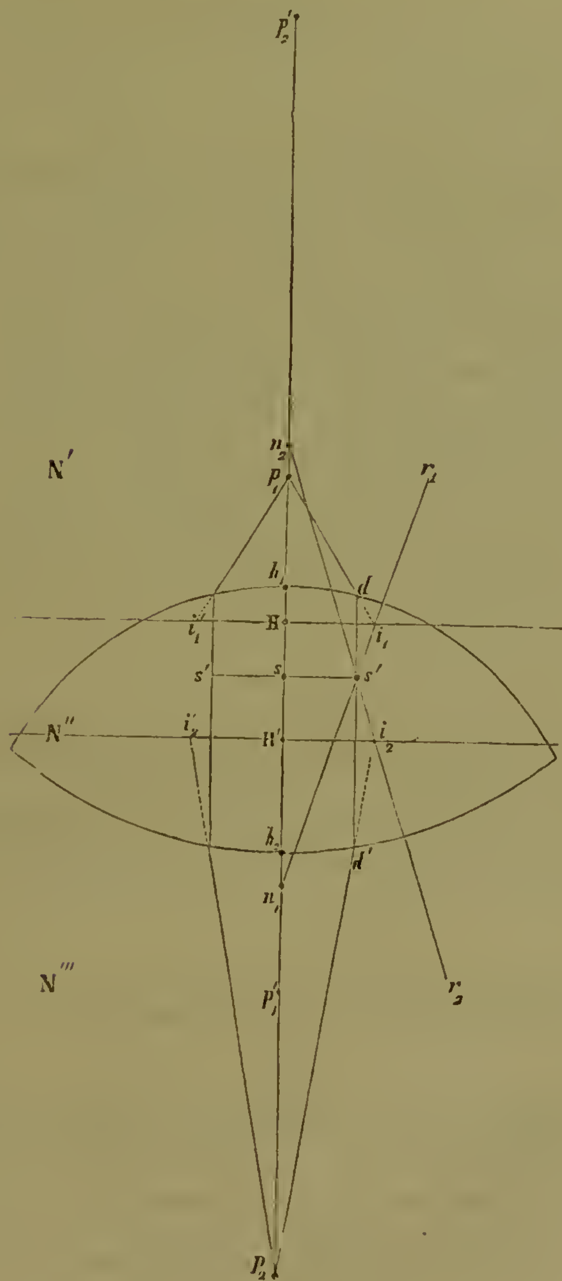
Per conoscere la sede occupata dai punti e dai piani capitali, noi possiamo proseguire in un modo analogo. Sia *fig.* 12 una lente biconvessa. N' è il primo mezzo, N'' ed N''' sono il secondo ed il terzo mezzo di questo sistema composto, il quale può dividersi in due sistemi semplici. Il primo di questi sistemi è composto dai mezzi N' ed N'' separati dalla superficie convessa h^1; N' è il primo mezzo di questo sistema.... Il secondo sistema è rappresentato dai due mezzi N''' ed N'' separati dalla superficie h^2, la cui convessità è rivolta verso N''' il quale, per conseguenza, è il 1° mezzo di questo 2° sistema..... p^1 è il punto focale anteriore principale del 1° sistema; p^2 il punto focale ant. princ. del 2° sistema.

Un raggio p^2 *d'* emesso da p^2, deve nel mezzo N'' correre parallelo all'asse principale (§ 4°): p^2 *d'* diviene *d'd*.... questo raggio *d' d*, parallelo all'asse principale nel mezzo N'', deve nel mezzo N' convergere verso p^1; la direzione di questo raggio *d' d* (passando dal 2° nel 1° mezzo del 1° sistema), diviene *d'* p^1.

Il raggio p^2 *d'd* p^1 incontra in *s'* il piano S*s'* perpendicolare all'asse principale. Esaminiamo la direzione che deve avere il raggio suddetto al davanti e dietro questo punto *s'*, o meglio nel 1° mezzo dei due sistemi.

$s'd$ prende la direzione dp^1 nel mezzo N' (1° mezzo del 1° sistema). n_1 essendo il punto nodale di questo 1° sistema (centro di sfera della curva di h^1), la direzione del fascio emesso da s' e diretto in N' sarà $s'r^1$ (diretto verso n^1). Il raggio dp^1 incontra *virtualmente* questo asse in i^1; i^1 è adunque il foco congiugato anteriore di s' nel primo sistema.

Fig. 12.



Noi vediamo ugualmente che il raggio $s'd'$ diretto dal 2° nel 1° mezzo del 2° sistema s'incontra *virtualmente* in i^2 coll'asse $r^2 s'$ (diretto in n^2 raggio di curva di h^2); i^2 è il punto focale anteriore virtuale di s' nel 2° sistema.

L'oggetto ss' ha dunque la sua immagine in $\mathrm{H}i^1$ nel primo sistema e in $\mathrm{H}'i^2$ nel secondo sistema. Ugualmente noi vediamo che p^2 dal quale parte un fascio rappresentato dai 3 raggi aventi la direzione $p^2 i^2$, $p^2 \mathrm{H}'$ e $p^2 i'^2$ avrà il suo fuoco coniugato in p^1 nel primo mezzo del sistema composto.

Lo stesso dicasi di un fascio $p^1 i'^1$ e $p^1 i^1$, il quale avrà in N''' la sua immagine p^2.

Noi vediamo inoltre che $i^2 i^2 = i'^1 i^1$, cioè che tutti i raggi emessi da P^2 e diretti al piano $i'^2 i^2$ sono in questo piano disposti in una posizione reciproca, identica alla posizione reciproca che hanno nel piano $i'^1 i^1$ i raggi diretti da p^1 a quest'ultimo piano. Questi due piani corrispondono adunque alla definizione dei piani capitali.

$s'Ss'$ è un piano focale comune ai due sistemi, nel quale si dipingono colla medesima dimensione e disposizione l'immagine virtuale di due oggetti di dimensione uguale (i^1 H i'^1 ed i^2 H' i'^2) ed appartenenti a due sistemi diottrici diversi.

La dimensione di un'immagine β, relativamente alla dimensione di un oggetto B viene trovata dalla formola (4) $\beta : \mathrm{B} :: \mathrm{F}' - f' : \mathrm{F}'$.

Nel primo sistema diciamo $h^1 P'^1 = \mathrm{F}'^1$, $\mathrm{S}h^1 = f'^1$; nel secondo sistema $h^2 p'^2 = \mathrm{F}'^2$ ed $sh^2 = f^{2'}$. Le due immagini essendo d' uguale grandezza, e siccome la formola 4ª:

$$\beta : \mathrm{B} :: \mathrm{F}'^2 - f'^2 : \mathrm{F}'^2 \text{ e}$$
$$\beta : \mathrm{B} :: \mathrm{F}'^1 - f'^1 : \mathrm{F}'^1$$

noi avremo: $f'^2 : \mathrm{F}'^2 :: f'^1 : \mathrm{F}'^1$ (form 10), cioè, per conoscere la sede di S, la distanza $h^1 h^2$ deve essere divisa in due parti proporzionate alle distanze focali F'^2 ed F'^1.

La sede di S, essendo conosciuta, la sede di H e di H' (punti capitali del Sist. composto) viene trovata facilmente colla formola (3 o 23).

$$f = \frac{\mathrm{F}f'}{\mathrm{F}' - f'}$$

infatti H è il fuoco anteriore congiugato di S nel primo sistema, ed H il fuoco congiugato anteriore di S nel secondo sistema.

Sede dei punti nodali e dei punti capitali.

Si vede da questi calcoli, che se il primo e l'ultimo mezzo sono di densità uguale, i punti capitali ed i punti nodali si confondono l'uno coll'altro, ma che al contrario essi sono separati se il primo e l'ultimo mezzo non hanno un indice di refrazione uguale.

La luce rimane omocentrica attraversando più superficie sferiche.

Chiamasi omocentrico un sistema di raggi luminosi, i quali sono o paralleli fra di loro, o che divergono insieme dallo stesso punto. Da ogni punto di un oggetto parte un fascio luminoso composto di raggi di luce divergenti da *uno stesso punto*, e dirigentisi in ogni direzione. Una parte dei raggi del fascio incontra la superficie sferica di refrazione, e siccome sono questi i soli di cui abbiamo da occuparci, il fascio forma un cono luminoso colla sua base alla superficie convessa e l'apice al punto dal quale partono tutti i raggi luminosi; questo cono o fascio luminoso è *omocentrico*.

Noi abbiamo veduto che dopo la refrazione attraverso superficie convesse, tutti i raggi del fascio tendono a riunirsi insieme in un punto unico (foco reale o virtuale). Il fascio adunque è rimasto *omocentrico*, sia che i raggi ne fossero paralleli o divergenti in qualunque grado. Lo stesso dicasi se il fascio omocentrico è composto di raggi convergenti; essi sono resi più convergenti ancora, ma rimangono omocentrici.

Basta adunque, per conoscere la direzione di tutti i raggi di quel fascio, esaminare la direzione di uno di essi; il punto di questo raggio, dal quale tutti i raggi di quel fascio divergono o verso il quale essi convergono, ci fa conoscere il sito occupato dall'immagine del punto dal quale è partito il fascio, o per dir meglio il *foco*. Sia (fig. 5ª) *a* punto luminoso dal quale parte un fascio di raggi omocentrici *ap*,*ap'a*, s; la direzione del raggio *ap* non viene cambiata perchè esso passa per il centro di sfera *o* e continua il suo tragitto in *a'*, e tutti gli altri raggi del fascio rimanendo *omocentrici*, devono, dopo la loro refrazione, tendere a riunirsi in un punto della linea *aoa'*; nella detta figura si riuniscono in *a'*. Conoscendo adunque la distanza *a'h* (distanza focale posteriore congiugata), e la direzione *a'a* (uno dei raggi del fascio), abbiamo tutti i dati necessarii pelle nostre dimostrazioni; e ci basta conoscere la direzione di un solo raggio, che chiamiamo asse del fascio, per conoscere la direzione di tutto il fascio.

Aberrazione di refrangibilità.

Quando raccogliesi sulla parete di una camera oscura, p. es., un'immagine della luce solare, interponendo una lente convergente nell'orifizio del diafragma, vedesi che i margini dell'immagine sono coloriti per lo più in azzurro o giallastro. Per la diversa refrangibilità dei raggi dei vari colori di cui è composta la luce solare, quei raggi formano il loro foco a diversa distanza a seconda del loro colore: e ciò è quanto dicesi *aberrazione cromatica*.

Inoltre osservasi che i margini dell'immagine sono irregolari; anche se la luce è semplice, il foco non formasi in un punto unico, sibbene in una certa estensione lineare lungo l'asse, e l'immagine rimane formata non da un punto, ma da un segmento di cono o da *cerchi di diffusione*; quell'*aberrazione* è detta *sferica* (di *forma conica*), e da ciò dipende che i raggi centrali hanno il loro foco od incrocicchiamento prima dei raggi periferici.

Acromatica dicesi una lente, o superficie sferica di refrazione, in cui non ha luogo aberrazione di sfericità (lente costrutta in modo che non dia più i colori dell'iride).

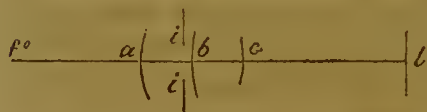
La sola parte più centrale (il 1|4 centrale), ossia le parti più vicine al centro di curva di una superficie sferica, è considerata come acromatica.

§ 6°

REFRAZIONE TOTALE DEI RAGGI CHE ATTRAVERSANO PIU' CORPI LIMITATI DA SUPERFICIE SFERICHE E CONCENTRICHE.

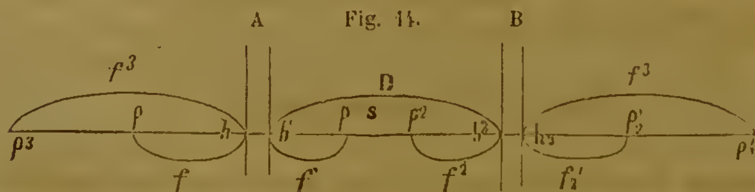
In ogni sistema diottrico noi troviamo gli stessi punti cardinali, e la refrazione si fa secondo le regole stesse che abbiamo ora indicato, qualunque ne sia il numero delle superficie di refrazione. Nell' occhio, per esempio, i raggi che vengono dall'aria hanno da attraversare tre superficie convesse: 1.° Dalla cornea nell'umore acqueo: superficie convessa che limita un corpo di densità maggiore della densità dell'aria; 2° Dall'acqueo nel vitreo attraversando una lente biconvessa di densità maggiore dei due mezzi che lo limitano. Le tre superficie di refrazione che i raggi devono attraversare sono rappresentate dalla figura seguente (fig. 13ª), in cui *a* rappresenta la cornea, *b c* le due superficie anteriore e posteriore del cristallino, ed *i i* l'apertura pupillare.

Fig. 13.



In ognuno di questi due sistemi noi abbiamo 6 punti cardinali; nel sistema composto noi dobbiamo trovare un numero uguale di punti cardinali. Bene s'intende che le superficie di refrazione devono essere concentriche, cioè avere un'asse principale comune.

Fig. 14.



Siano (fig. 14) questi due sistemi centrati, cioè abbiano un'asse comune.

p e p' sono i due punti focali, h e h' i due punti capitali del primo sistema A; p^2 e $p^{2'}$ sono i punti focali, h^2 ed $h^{2'}$ i punti capitali del secondo sistema B.

Diciamo D la distanza tra il primo punto capitale $h2$ del secondo sistema B ed il secondo punto capitale h' del primo sistema A. Questa distanza D sarà detta positiva (+ D,) se come in questa figura. h^2 trovasi dietro h'. Noi esprimeremo hp o distanza focale anteriore del primo sistema colla lettera f, e la distanza $h' p'$ (o distanza focale posteriore dello stesso sistema) sarà f. Con f^2 ed $f^{2'}$ esprimeremo le distanze focali anteriore e posteriore del secondo sistema, cioè $h2\ p2 = f2$, ed $h2'$ $p2' = f2'$. Noi diremo N il mezzo che corrisponde a p, cioè il quale trovasi al davanti del sistema composto; il mezzo corrispondente al lato $p4$ è l'ultimo mezzo del sistema $= N^x$; il mezzo D è il mezzo di separazione dei due sistemi: $= N^m$.

I.

PUNTI FOCALI.

a) *Punto focale anteriore principale.*

Un fascio composto di raggi paralleli all'asse principale e dirigentesi dall'ultimo mezzo (N^x) nel mezzo mediano (N^m) forma il suo fuoco in $p2$ (fuoco anteriore principale del sistema B.) Supponiamo questi raggi proseguire nella loro direzione; il sistema A riceve i raggi di questo fascio dal punto $p2$ e li riunisce nel mezzo N in $p3$: $p3$ è adunque il fuoco congiugato anteriore di $p2$ nel sistema A. Il punto $p3$ è pure certamente il punto focale principale anteriore del sistema combinato, poichè esso è il punto in cui s'incrocicchiano nel primo mezzo i raggi i quali sono paralleli nell'ultimo mezzo.

La distanza $h'p2 = D - p2h2 = D - f2$; adunque secondo la formola (23).

$$f = \frac{f'F}{f' - F'}$$

Avremo :

$$\text{formola 11. } hp3 = \frac{(D - f2) \times f}{(D - f2) - f'}$$

b) *Punto focale principale posteriore.*

Supponiamo un fascio di raggi luminosi paralleli all'asse principale dirigentesi dal primo nell'ultimo mezzo. Questo fascio refratto dal sistema A, forma il suo fuoco in p'; il secondo sistema B, riceve adunque

un fascio da p' e questo fascio refratto dal secondo sistema, ha il suo fuoco per es. in p^4. Il punto p^4 è il punto focale principale posteriore del sistema combinato, poichè i raggi paralleli fra loro nel primo mezzo, hanno il loro fuoco nel punto p^4 dell'ultimo mezzo.

p^4 è il fuoco congiugato posteriore di p' nel sistema B; la distanza $p'h^2 = D - p'h' = D - f'$ perciò secondo la formola (23)

$$f' = \frac{f\,F'}{f - F}$$

noi avremo: formola (12)

$$h^2 p^4 = \frac{(D - f')\, f^{2'}}{(D - f') - f^2}$$

II.

PUNTI CAPITALI.

I due piani capitali devono essere due immagini perfette l'un dell'altro, ed una di queste immagini spetta al fascio prima della sua refrazione (o nel 1° mezzo), e l'altra spetta invece al fascio dopo la sua refrazione totale (cioè nell'ultimo mezzo).

Se noi confrontiamo la fig. 14 colla fig. 12 noi vediamo immediatamente la perfetta analogia che esiste fra questi due sistemi composti. Ambedue risultano di 2 sistemi. Però nella fig. 12 noi troviamo che i due sistemi, dall'insieme dei quali è formato il sistema composto, non hanno sì l'uno che l'altro che un solo piano capitale; invece nel sistema composto rappresentato nella fig. 14 ognuno dei due sistemi che lo compongono ha due piani capitali separati. Ma questa differenza non è che apparente, giacchè siccome noi l'abbiamo veduto nel § 4...... h^1 (fig. 12) rappresenta in realtà 2 piani capitali riuniti insieme; h^2 rappresenta pure due piani capitali.

Nella stessa guisa che noi abbiamo trovato nel sistema della fig. 12 un punto S dell' asse principale sito nel mezzo mediano N', cioè un fuoco coniugato comune dei due punti capitali del sistema composto ed un piano $s'ss'$ perpendicolare all' asse principale in cui i due piani capitali del sistema composto formano un' immagine comune e di uguale grandezza, noi potremo ugualmente trovare nel sistema della fig. 14 e nel mezzo Nm un punto ed un piano aventi le stesse proprietà.

Supponiamo infatti un raggio emesso da p^3 dell'asse principale; dopo la sua refrazione nel sistema A e nel mezzo N^m (mezzo di separazione dei due sistemi che corrisponde a D), questo raggio incontrerà il mede–

simo asse principale in un punto che noi diremo S; poi procedendo dal mezzo N^m, nell'ultimo mezzo N^x questo raggio incontrerà di nuovo l'asse in un punto p_4. P^3 ed S sono fuochi congiugati l'uno dell'altro nel primo sistema ; ed S e p^4 sono punti focali congiugati nel secondo sistema. P^3 e P^4 sono pure adunque immagini l'uno dell'altro, e di S.

Ma i due piani capitali p^3 e p^4 devono avere dimensioni uguali. Qual sede dovrà dunque occupare il punto S affinchè le immagini da esso formate in p^3 ed in p^4 siano di dimensione uguale? Diciamo B la dimensione di un oggetto collocato in S: β^1 la sua immagine proiettata dal sistema A cioè in p^3: e β^2 la sua immagine proietta dal sistema B, cioè in p^4; noi avremo secondo la formola (4):

Formola 13. $\dfrac{\beta^1}{B} = \dfrac{f'}{f' - (Sh')}$ e $\dfrac{\beta^2}{B} = \dfrac{f^2}{f^2 - (Sh^2)}$

in cui f' ed f_2 hanno lo stesso valore che nelle formole precedenti. siccome noi dobbiamo avere $\beta^1 = \beta_2$

Formola 14. $\dfrac{f'}{f' - (h'S)} = \dfrac{f^2}{f^2 - (hS)}$ oppure

Formola 15. $\dfrac{h'S}{f'} = \dfrac{Sh^2}{Sh'}$

cioè per trovare nel mezzo mediano il punto S, le cui immagini sono i due punti capitali del sistema composto, si deve dividere la distanza che separa il 2° punto capitale del primo sistema, dal 1° punto capitale del 2° sistema, in due parti proporzionate alla distanza focale principale che hanno i due sistemi nel mezzo corrispondente ai suddetti piani capitali di questi due sistemi, cioè nella fig. 14 proporzionata ad f' ed f^2.

Conosciuto il punto S, è facile di calcolare la posizione di p^3 e di di p^4 dalla formola (23)... colla quale viene trovato il valore di f e di f'; p^3 infatti $= f$ di S nel primo sistema, e $p^4 = f'$ di S nel secondo sistema.

Oppure chiamando h^3 la distanza del primo punto capitale del sistema combinato al davanti del primo punto capitale h del primo sistema; e dicendo h^3 la distanza del secondo punto capitale del sistema combinato, dietro il secondo punto capitale $h^{2'}$ del secondo sistema; e dicendo $D = h'h^2$

avremo:

formola 16. $h^2 = \dfrac{Df}{D - f^2 - f'}$, e

formola 17. $h^3 = \dfrac{Df^{2'}}{D - f^2 - f'}$.

Se il risultato è positivo, già s'intende da quanto abbiamo detto or ora,

che h^3 distanza del primo punto capitale del sistema combinato dal primo punto capitale del primo sistema, si troverà in avanti di questo primo punto capitale del sistema A; sarà calcolato indietro di esso se il valore di h^3 sarà trovato negativo o $h^{3'}$ sarà ugualmente in avanti di $h^{2'}$ del secondo sistema B, se il valore di $h^{3'}$ sarà trovato negativo, e viceversa.

Chiamando F il punto focale anteriore, e F' il punto focale posteriore del sistema combinato, e H e H' i punti capitali primo e secondo del sistema combinato, noi avremo la formola seguente:

$$\text{formola 18.}\quad Hp^3 = F = \frac{f^2 f}{f^2 + f' - D}$$

$$\text{formola 19.}\quad H'p^4 = F^2 = \frac{f'f}{f^2 + f' - D}$$

II.

PUNTI NODALI.

Si può nella stessa guisa provare l'esistenza e trovare la sede dei due punti nodali in questo sistema composto. Il sistema rappresentato nella fig. 12 è perfettamente simile al sistema rappresentato nella figura 14; in ognuno dei due sistemi componenti, noi troviamo 6 punti cardinali, come nel sistema rappresentato nella fig. 14. Noi adunque potremo trovare nel mezzo N^m di questo ultimo un punto avente le stesse proprietà, che il punto O trovato nella fig. 12. Sia in S quel punto (fig. 14), e siano p^3 il punto nodale anteriore del sistema composto, p^4 il punto nodale posteriore del sistema composto. I raggi, i quali nel primo mezzo sono diretti in p^3, devono dopo la loro refrazione nel sistema A riunirsi in S. S è adunque, nel sistema A, congiugato di p^3 nel mezzo N^m. I raggi emessi da S devono pure, dopo la loro refrazione nel sistema B, riunirsi in p^4, il quale è pure un'immagine di S nel sistema B. Per trovare in N^m la sede di S fuoco congiugato comune di p^3 (nel primo sistema) e di p^4 (nel secondo sistema) e poscia la sede di p^3 e di p^4, noi dobbiamo procedere nel modo or ora indicato.

D'altronde noi potremmo, conoscendo la sede di F, di F', di H e di H' dedurre direttamente la sede di n e di n'.

Così conosciuta la distanza dal primo punto capitale del primo sistema in cui trovasi H (punto capitale del sistema combinato), e conosciuto F distanza focale anteriore (H p^3 del sistema combinato), è facile di conoscere il sito occupato da n', (secondo punto nodale del sistema combinato) sapendo che $F = G' = np^4$.

n H'=nH, perciò la sede di n' sarà trovata facilmente.

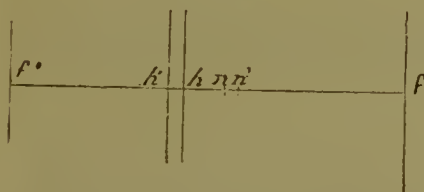
Bene s'intende, che la coincidenza o la non coincidenza dei punti nodali e capitali è sottomessa alle regole medesime che noi abbiamo studiato nei §§ 2 e 5.

Noi possiamo pure, per trovare la sede dei punti nodali, servirci delle medesime formole che ci servirono per trovare i punti capitali, considerando però h^1 h^2 come punti nodali dei due sistemi, e D la distanza che separa questi due punti nodali.

Punti e linee cardinali di un sistema composto di più corpi limitati da superficie sferiche.

Riepilogando, vediamo che ogni cono luminoso o fascio omocentrico prima della refrazione, rimane omocentrico dopo la refrazione, cioè che tutti i raggi di esso tendono verso un punto, nel quale si riuniscono. È adunque necessario di conoscere il punto verso il quale tendono tutti i raggi del fascio. Inoltre il solo asse principale, o raggio il quale passa per il centro di sfera di ognuna delle superficie, non viene modificato nella sua direzione; dobbiamo adunque conoscere la direzione che prendono gli assi degli altri fasci. L'asse del fascio, il quale indica la direzione in totalità del fascio stesso, non subisce che una deviazione parallela. La direzione del fascio ed il punto della linea di direzione dell'asse verso il quale tutti i raggi del fascio tendono dopo la loro refrazione, saranno indicati dai punti cardinali, i quali sono in numero di 6 (fig. 15), cioè: 2 punti e piani focali $f°$ f, 2 punti e piani capitali h h'; 2 punti nodali n n'.

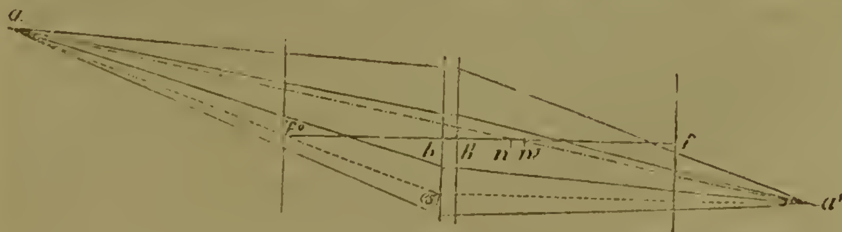
Fig. 15.



Dopo la refrazione totale, l'asse del fascio è deviato dalla direzione che aveva prima della refrazione, ma rimane parallelo alla sua direzione primitiva.

Dopo la refrazione l'asse del fascio avrà la direzione *n'a'*, se prima della refrazione aveva una direzione *an*. (fig. 16). Supponiamo che dal

Fig. 16.



punto luminoso *a*, parta un fascio luminoso diretto attraverso il sistema

rappresentato in questa figura 16; *an*, prima direzione dell'asse del fascio, diverrà invece *n'a'* parallelo alla prima direzione.

Conosciuto il sito occupato nel sistema da *n* e *n'*, non si ha che a tirare una linea da *n'* parallela alla linea *an*, o *prima linea di direzione* per conoscere la direzione dell'asse di quel fascio dopo la refrazione (o *seconda linea di direzione*).

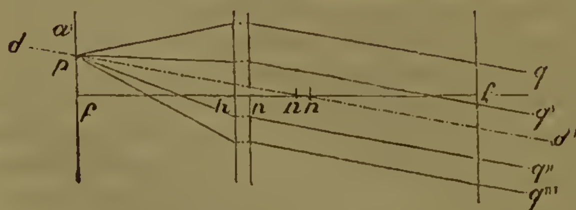
Prima della refrazione tutti i raggi del fascio erano omocentrici, perchè partivano dal punto *a*. Dopo la refrazione essi rimangono omocentrici, cioè tendono a riunirsi in un medesimo punto dell'asse; ma la prima direzione dell'asse *an* è divenuta *n'a'*; dopo la refrazione i raggi devono adunque tendere a riunirsi in qualche punto della linea *n'a'*. Se noi studiamo il prolungamento dei coni luminosi verso la loro base, (cono prima e cono dopo la refrazione) troviamo che esistono due sezioni della base di quei coni, identiche fra loro. In una sezione perpendicolare fatta in un certo punto *h* del cono prima della refrazione noi troviamo l'immagine ottica perfetta, ugualmente grande ed in cui ogni raggio del fascio è ugualmente diretto, d'un'altra sezione perpendicolare del cono luminoso fatta in *h'*, cioè dopo la refrazione. Queste ,sezioni o piani perpendicolari sono i piani capitali. I punti di questi piani siti sull'asse principale del sistema sono i punti capitali: *h h'*.

La posizione di ogni raggio luminoso di un piano capitale è trovata uguale sull'altro piano capitale. Il piano o sezione *h* che spetta al cono luminoso prima della refrazione è detto primo piano capitale; il piano h' che spetta al cono dopo la refrazione totale, è detto secondo piano capitale o posteriore.

La distanza che separa il secondo piano capitale dal primo sarà positiva se quel secondo piano capitale trovasi dietro il primo, e sarà invece negativa se trovasi in avanti.

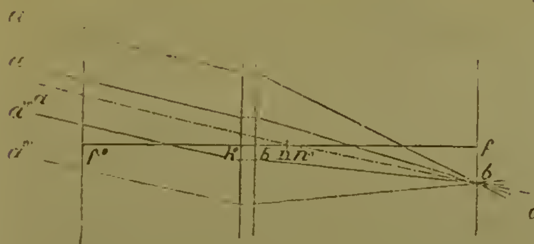
I punti ed i piani focali hanno la stessa significazione che nel primo sistema studiato. Tutti i raggi, i quali passano per un punto focale sono, dopo la loro refrazione, paralleli all'asse principale del sistema (vedi il raggio *a* f° 5 *a'*)...(fig. 16), e tutti i raggi i quali passano o partono per un medesimo punto d'un piano focale, sono dopo la refrazione paralelli fra loro: sia (fig. 17), *a* punto d'un piano focale anteriore .... tutti i raggi che partono da questo punto, o che passano per esso sono paralleli fra loro dopo la loro refrazione: q. q' q'' q'''.

Fig. 17.



Sia *b* (fig. 18) punto d'un piano focale post. . . . . . tutti i raggi i quali passano per esso sono paralleli fra loro nel 1° mezzo *a a' a'' a'''*.

Fig. 18.



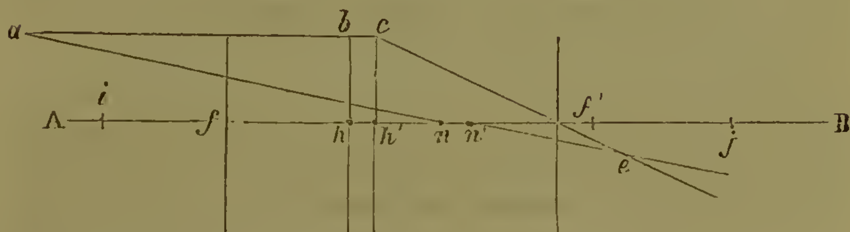
La distanza tra il secondo punto capitale *h*, ed il secondo punto focale *f*, è detta distanza focale posteriore principale.

La distanza tra il primo punto capitale *h* ed il primo punto focale f^0 è detta, distanza focale anteriore principale.

Da queste regole è facile, conoscendo il corso di un raggio nel primo mezzo, di figurarsene il corso dopo l'ultima refrazione, e dato un punto luminoso nel primo mezzo di trovare la sede della sua immagine dopo l' ultima refrazione.

Sia *a* un punto luminoso: trovarne l'immagine (fig. 19).

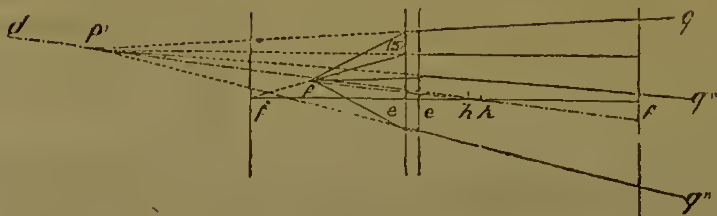
Fig. 19.



Non si ha che da scegliere due dei raggi che si portano al primo piano capitale; e dove essi s'incontrano dopo la loro refrazione, là formasi l'immagine di *a*. Scegliamo i raggi *ab* (parallelo all'asse principale), ed *an* (diretto al primo punto nodale *n*). Il raggio *ab* incontra in *b* il primo piano capitale (supponiamo pure che i due punti *a* e *b* non siano in un piano coll'asse AB del sistema); l'immagine del punto *b* deve trovarsi nel secondo piano capitale, poichè quest' ultimo è l'immagine del primo piano capitale; inoltre in quest' immagine quel raggio deve occupare una sede uguale che nell'altra; così l'immagine di *b* del primo piano capitale trovasi in *c* nel secondo piano capitale, all' estremità di una perpendicolare ai due piani capitali (*bc*). Ogni raggio che parte da *b* o passa per *b*, deve adunque dopo la sua refrazione passare in c, che è l'immagine di *b*. Dopo la sua refrazione il raggio *ab* deve passare per *f'* (2° punto focale princip.), perchè esso era, prima della refrazione, parallelo all'asse principale A B; la sua direzione diviene adunque *c f' e*... il raggio *an* invece, diretto verso il 1° punto nodale, deve passare pel 2° punto nodale *n'*, rimanendo parallelo alla sua direzione primitiva; la direzione di *an* diviene adunque *n'e*; il punto d'incrocicchiamento di tutti i raggi del fascio si trova perciò in *e*, il quale è l'immagine di *a*.

La figura seguente (20) rappresenta il caso in cui il punto luminoso

Fig. 20.



trovasi tra il primo punto focale ed il primo piano capitale: i raggi $qq'q''$, ecc., escono, dopo la loro refrazione, come se venissero divergenti da un punto p', collocato sulla seconda linea di direzione kf', e quel punto p' è l'immagine virtuale di p.

§ 7°

RIEPILOGO DELLE FORMOLE PRINCIPALI.

I.

FORMOLE GENERALI.

Conoscendo il valore e la sede dei punti e dei piani cardinali di un sistema diottrico, ci è facile di sciogliere ognuno dei problemi che possono presentarsi in pratica. Perciò farò seguire quanto ho detto da alcune formole e considerazioni, che ci potranno servire di norma nei nostri studi.

Chiamasi distanza focale principale F la distanza che separa il punto focale anteriore f° (fig. 16) dal punto capitale anteriore h. La distanza focale principale posteriore F' è la distanza che separa il punto capitale posteriore h' dal punto focale posteriore f.......$f^{\circ}h$=F..... $h'f$=F'.

La distanza che separa h da h' è uguale alla distanza tra n e n'.

$hh'=nn'$. Perciò:

Formola 20. $hn=h'n'$,

e chiamando G la distanza tra f° e n, e G' la distanza tra n' ed f abbiamo: F'=G.

Formola 21. F=G', .
o: F=F'—$h'n'$,

ecc., ecc..... F'—F + $n\ h$

Chiamasi fuoco coniugato posteriore (fig. 19), il punto j, in cui si in-

crocicchiano, dopo la refrazione, i raggi emessi dal punto ;.... i è il foco congiugato anteriore di j, perchè i raggi emessi da j e seguenti una via inversa, cioè dall'indietro all'avanti del sistema, avrebbero a riunirsi in i.

$h\ i = f$, fuoco congiug. ant.
$h'j = f'$, » » post.
n i $= g$
$n'j = g'$

Formola 22. $g = \frac{g'\,G}{g' - G'}$, e $g' = \frac{G'\,g}{g - G}$.

oppure $f = \frac{f'\,F}{f' - F'}$, e $f' = \frac{f\,F'}{f - F.}$ form. 23.

in quanto poi alle dimensioni delle immagini, chiamando B la dimensione dell'oggetto, e β la dimensione della sua immagine, noi avremo:

Form. 24. $\beta : B = g' : g$

oppure $\beta : B =$ f'-F': F' form. 25.

II.

FORMOLE PIU' SPECIALMENTE APPLICATE AL 1° SISTEMA.

Quando i raggi luminosi passano da un mezzo, in un altro di densità diversa, limitato da una superficie convessa (come, p. es., nel caso in cui i raggi passano dall'aria nell'umore acqueo), la determinazione dei punti cardinali sarà ottenuta facilmente dalle due formole già conosciute, che seguono:

formola 26 $F = \frac{N\ R}{N' - N}$ ed $F' = \frac{N'R}{N' - N}$ formola 27.

in cui F è la distanza focale principale anteriore, F' la distanza focale principale posteriore, N l'indice di refrazione del 1° mezzo, N' l' indice di refrazione del 2° mezzo. R è il raggio di curva della superficie limitante. F ed F' vanno calcolati dal centro di curva o punto nel quale la superficie connvessa è attraversata dall'asse del sistema, e nel quale trovansi riuniti i due punti capitali, come abbiamo veduto più sopra. R rappresenta nella stessa guisa i due punti nodali delle linee di direzione fusi insieme in questo sistema, o, per dir meglio, essa rappresenta la distanza dal punto capitale unico al punto nodale unico.

Nel caso in cui i raggi passano dall'aria nell'umore acqueo, la formola si riduce a

formola 28. $F = \frac{R}{N' - 1}$ ed $F' = \frac{N'R}{N' - 1}$ formola 29.

ammettendo che N indice di refrazione dell'aria $= 1$.
così pure:

formola 30. $F' = F\frac{N}{N'}$.

III.

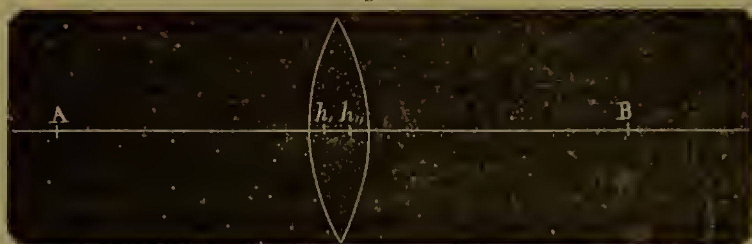
FORMOLE ORDINARIE DELLA REFRAZIONE DELLE LENTI.

In quanto alle lenti, di cui facciamo uso, esse possono essere:

1° *Piane* in ambe le loro faccie, e queste non modificano la direzione dei raggi; i loro fuochi sono all'infinito.

2° *Biconvesse*, limitate cioè da due superficie convesse (fig. 21). Abbiamo

Fig. 21.



notato diggià, che in esse vanno considerati due punti nodali, e due piani capitali h' h''; siccome però la loro spessezza e refrangibilità sono tali che ordinariamente la distanza che separa gli uni dagli altri è minima, il calcolo si fa, per maggior semplicità, dal centro ottico o punto nodale unico sito fra questi due punti nodali, e ci serviamo della formola seguente la quale serve per tutte le lenti:

Formola 31.

$$F=\frac{rr'}{(N-1)(r'-r)}$$

in cui F ha la stessa significazione che nella formola che precede; r è il raggio della prima superficie ed r' il raggio della seconda superficie della lente; ed N è l'indice di refrazione della sostanza di cui è formata la lente.

La formola seguente trova applicazioni assai più frequenti in pratica:

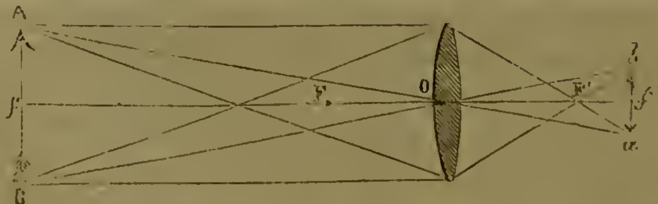
Formola 32.

$$\frac{1}{f'}=\frac{1}{F}-\frac{1}{f}\text{ oppure:}$$

$$\frac{1}{F}=\frac{1}{f}+\frac{1}{f'}$$

f ed f' esprimono le distanze focali coniugate. I raggi, i quali partono da un punto f dell'oggetto A B (fig. 22) formano il loro fuoco in

Fig. 22.



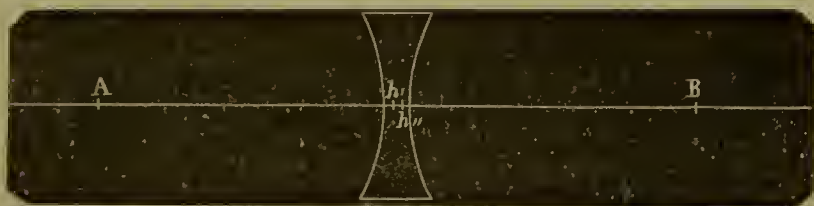
f' dell'immagine ba, dopo la loro refrazione; e viceversa, i raggi che partirebbero da f', avrebbero, dopo la refrazione, il loro fuoco in f; f ed

f' sono coniugati l'uno dell'altro. Conoosciuta la distanza focale principale F, si dedurrà facilmente dalla formola il luogo in cui si formerà l'immagine di un oggetto di cui si conosce la distanza dal centro ottico. F ed f vanno pure calcolati dal centro ottico.

Si deduce dalle formole che un punto luminoso collocato all'infinito al davanti della lente, o dal quale partono raggi luminosi paralleli, forma il suo fuoco nella distanza focale principale posteriore, e che il fuoco si conserva sensibilmente nella distanza focale posteriore finchè il sud.° punto rimane al di là di 100 volte la distanza focale principale (o 100 F). Alla distanza di 100 F, il fuoco posteriore si è allontanato solo di 1[99 dalla distanza focale principale. Da quella distanza, avvicinandosi l'oggetto verso la lente, l'immagine si allontana assai più rapidamente; e se l'oggetto è collocato tra il fuoco principale ant. e la lente, i raggi escono divergenti, ossia il fuoco diviene negativo; la lente serve d'ingrandimento. Quando il risultato della formola sarà negativo per f', questo si troverà naturalmente al davanti della lente, dallo stesso lato che F (fig. 27). È inutile di rammentare che, siccome tutte le nostre lenti sono composte di sostanza uguale, cioè dotate d'indice di refrazione uguale, la loro refrangibilità è in proporzione inversa del raggio di sfera delle loro faccie.

3° Le *lenti biconcave* (fig. 23) sono limitate da due superficie concave,

Fig. 23.



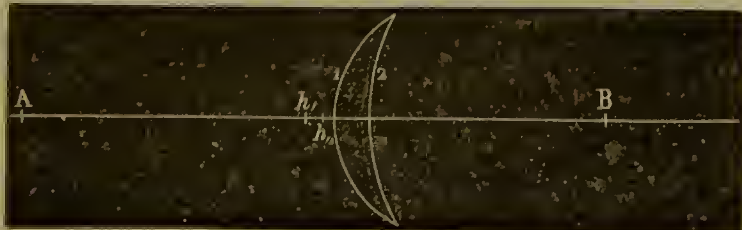
e sono lenti di dispersione; il loro fuoco principale è negativo; cioè i raggi paralleliescono divergenti dopo la refrazione.

Rappresentiamo con p il valore assoluto della distanza focale principale negativa della lente, cosichè sia $p = -F$, noi avremo:

$$\text{(form. 33)}\quad \frac{1}{f'} = \frac{1}{p} - \frac{1}{f}$$

4° Le *lenti concave-convesse* sono positive o negative; esse sono positive se il loro margine è meno spesso che il loro centro (fig. 24), e

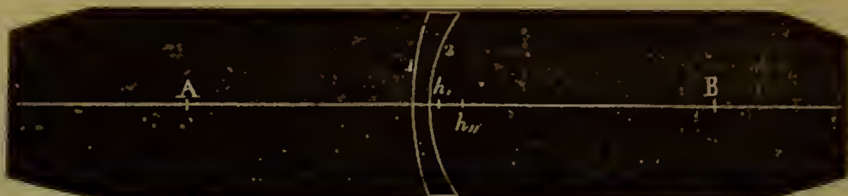
Fig, 24.



viceversa esse sono negative se divengono più dense al loro margine

(fig. 25). Noi dovremo servirci della formola delle lenti biconvesse o delle lenti biconcave, a seconda della loro facoltà collettrice o di dispersione.

Fig. 25.



5° Le *lenti piano-convesse e piano-concave* sono lenti collettrici o di dispersione, a seconda della direzione delle loro faccie, e le loro formole saranno ora quelle delle lenti convesse, ora quelle delle lenti biconcave.

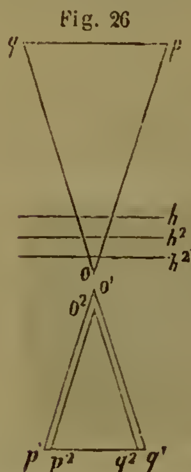
IV.

DESCRIZIONE DELLE FORMOLE DELLE IMMAGINI.

Consideriamo dapprima una lente convergente, con un centro ottico unico (*o*) (fig. 22). Rappresentiamo con *AB* una linea luminosa, collocata perpendicolarmente all'asse, al di là del fuoco principale *F*. I raggi che partono dal punto *A* concorrono, dopo la refrazione, al punto *a* dell'asse secondario *Aa*. Quelli che partono dal punto *B* concorrono al punto *b* dell'asse secondario *Bb*, e quelli che partono dai punti intermedii fra *A* e *B* concorrono fra i punti *a* e *b*. L'immagine dell'oggetto sarà veduta adunque in *a b*. Egli è facile di ottenere il rapporto della grandezza dell'immagine alla grandezza dell'oggetto paragonando i triangoli simili *AoB*, *boa*; infatti: $\frac{a\,b}{AB}=\frac{ao}{Ao}$ (form. 33).

Nella (fig. 26) che rappresenta il sistema con due punti nodali *oo'*

Fig. 26



avremo: $\frac{p'q'}{pq}=\frac{p'o'}{po}$ form. 34

oppure: $\frac{p'q'}{pq}=\frac{F}{F-f}=\frac{f'-F}{F}$ form. 35

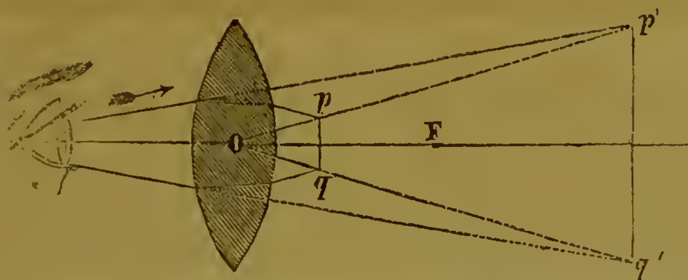
e rappresentando *p'q'* da β, e *pq* da β, avremo dalla discussione di quelle formole: $\beta = g'\,g$. (form. 36) e β': $\beta = f'$-F':F' (f. 37).

(Vedi pel valore dei segni le formole che precedono).

Se l'oggetto è collocato all'infinito, l'immagine sarà minima e collocata nella distanza focale principale. Avvicinandosi l'oggetto, la sua immagine si ingrandisce e si allontana dalla lente. Se l'oggetto è collocato nel fuoco della lente, i raggi ne escono

paralleli fra di loro; non formasi alcuna immagine, ma l'oggetto veduto attraverso la lente è veduto come se fosse collocato all'infinito. Infine se l'oggetto è collocato tra la lente e la sua distanza focale principale non si forma immagine reale; l'immagine è *virtuale*, ingrandita (fig. 27).

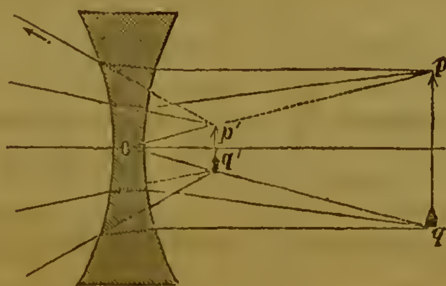
Fig. 27.



Consideriamo una lente divergente, e supponiamo l'oggetto collocato in pq (fig. 28) la sua immagine $p'q'$ sarà virtuale, diretta e sita tra pq e la lente. $\frac{p'q'}{qp}=\frac{F}{f+F}$ oppure: $\beta' = \beta\frac{F}{f'+F}$ (form. 38).

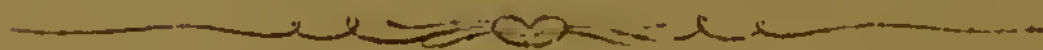
in cui β rappresenta la dimensione dell'oggetto, e β' la dimensione della immagine.

Fig. 28.



Gettando uno sguardo sulla fig. 26, sarà facile di vedere, che allorquando in un sistema diottrico i punti nodali sono divisi fra di loro, si deve tener conto della distanza che separa questi punti fra di loro, per calcolare esattamente la dimensione dell'immagine.

In caso si volesse avere la grandezza dell'immagine di $p\,q$, supponendo la luce raccolta in questa linea, vediamo che la dimensione sarà minore se i punti nodali sono più separati; l'immagine sarà $p^2\,q^2$, se il punto nodale posteriore è in 02; se invece il punto posteriore trovasi in 01, più avvicinato cioè al punto nodale anteriore 0, l'immagine sarà maggiore: $p'\,q'$.



CAPITOLO II.

Studio diottrico dell'occhio

I raggi luminosi, destinati a produrre sulla retina un'impressione distinta degli oggetti esterni, devono, prima di giungere a questa membrana, attraversare la cornea, l'umore acqueo, il cristallino e l'umore vitreo. Di tessitura e densità diversa, dotati di indici di rifrazione disuguali, limitati da superficie sferiche, questi mezzi trasparenti devono modificare la direzione dei raggi luminosi.

La forma delle superficie limitanti, la loro posizione ed inclinazione rispetto all'asse ottico, gli indici di rifrazione delle sostanze rifrangenti, sono i quattro punti cardinali nello studio della rifrazione oculare.

CORNEA.

Il bulbo oculare ha una forma conica, allungata dall'avanti all' indietro, ma ogni cambiamento di equilibrio tra la resistenza del guscio oculare e la pressione degli umori contenuti altera la forma dell' occhio: una pressione interna esagerata riconduce naturalmente l' occhio ad una forma più sferica, se le sue pareti non cedono in qualche punto.

La cornea non è ultima a subire tale influenza, cede essa pure, si appiana perchè più convessa che le parti vicine della sclerotica, aumentandosi il suo raggio di sfera. Noi osserviamo ogni giorno questi mutamenti della convessità corneale nelle malattie oculari con aumento di pressione interna senza ectasia delle

pareti. Si può osservare ugualmente l'aumento o la diminuzione della convessità della cornea, scemando od accrescendo nell'occhio del cadavere la tensione interna con pressione fatta artificialmente con acqua (coll'amodynamometro di Spinglier). L'elasticità della sclerotica e della cornea si prestano bene a tale sperimento.

Ognuno può adunque spiegarsi facilmente la causa dei risultati tanto diversi ottenuti dagli anatomici che misurarono sul cadavere la fòrma ed il grado di convessità della cornea.

Per ottenere misure esatte, l' occhio deve essere esaminato, nelle sue condizioni normali di pressione interna e dei suoi sostegni attivi, cioè sul vivo.

Se noi collochiamo al davanti di un occhio sano la fiamma di una candela, tre immagini della fiamma si rendono visibili nell' occhio, l' una dietro l' altra: l'immagine anteriore è diritta e risulta dalla riflessione di una parte dei raggi luminosi dalla superficie anteriore della cornea. Senff e Kohlrausch aveano già approfittato di questa immagine riflessa per misurare sul vivo la curvatura della superficie della cornea.

Infatti la cornea facendo l'ufficio di uno specchio convesso, le dimensioni dell' immagine riflessa devono essere in correlazione col raggio di sfera, cioè col grado di convessità della cornea.

La dimensione dell'immagine è in ragione inversa della lunghezza del raggio di curvatura dello specchio.

Affinchè le immagini formate da uno specchio conico convesso (com' è la cornea) abbiano contorni ben limitati ed apprezzabili, i raggi luminosi devono cadere quasi perpendicolarmente sulla sua superficie. Ne segue che non si possono adoperare che delle immagini molto più piccole che il raggio della cornea, cioè di 1|4 incirca della lunghezza del raggio. I raggi infatti che cadono sulla periferia dello specchio non formano il loro fuoco nello stesso punto che i raggi più centrali. Ogni errore nella mensurazione dell' immagine deve adunque essere moltiplicato per quattro, quando dalla dimensione dell'immagine vuolsi misurare il raggio di curva. Così, se vuolsi avere con un errore approssimativo di 1|200, il raggio della cornea che è di otto millimetri incirca, dobbiamo condurre le nostre determinazioni ad 1|100 di millimetro incirca pell' immagine. È però quasi

impossibile d' impedire nel capo e nell'occhio movimenti così leggeri.

Dobbiamo al professore Helmoltz, il celebre inventore dell'oftalmoscopio, la costruzione di un apparecchio detto *oftalmometro*, il quale permette di misurare esattamente le piccole immagini della cornea, malgrado i movimenti di essa. L'istromento ha somiglianza coll'*eliometro* di cui si servono gli astronomi per misurare esattamente le distanze reciproche delle stelle, le quali sono sempre in movimento.

Il principio sul quale è fondata la costruzione dell'istromento è il seguente. Se noi guardiamo un oggetto attraverso una lamina di vetro, le cui superficie sieno piane e parallele, l'oggetto veduto subisce una deviazione, quando la lamina è posta obliquamente alla direzione dell'asse visuale. La deviazione dei

Fig. 29.



raggi è in rapporto coll'obliquità della lamina. Al davanti di un cannocchiale *A* collochiamo due lamine di vetro piane colle loro assi parallele ($a' b'$, $a^2 b^2$) e riunite lateralmente fra di loro con un perno in modo che presentino sì l'una che l'altra lo stesso angolo coll'asse visuale; la parte interna del vetro obiettivo del cannocchiale (cioè corrispondente al naso dell' osservatore) riceve i raggi luminosi per la lamina $a^2 b^2$, la parte esterna dell'obiettivo invece per la lamina $a' b'$. Se il cannocchiale è diretto verso l'oggetto *cd*, l'immagine non è veduta semplice in *cd* ma doppia $c^1 d^1$, $c^2 d^2$. La lamina $a' b'$ dà l'immagine $c^1 d^1$, e la lamina $a^2 d^2$ l'immagine $c^2 d^2$, l'una al disopra dell'altra, amendue nel campo del cannocchiale.

Volgendo le due lamine sul perno che le riunisce in modo che le estremità d^1 e c^2 delle immagini vengano a contatto, e conoscendo l'angolo di rotazione subito dalle lamine, si può calcolare la grandezza di *cd*; non è neppure necessario di conoscere la distanza che corre fra *A* e *cd*.

Si può con tale istromento vedere distintamente i limiti della doppia immagine, anche se l'occhio esaminato si muove, le due immagini muovendosi ugualmente. Solo devesi badare che le due lamine sieno d'uguale spessore e collocate nello stesso angolo coll'asse visuale, specialmente se l'oggetto *cd* trovasi in una piccola distanza. Le lamine non solo producono la doppia immagine, ma le avvicinano, ed è necessario che siano in distanza uguale perchè si possano riunire.

Tale è la parte fondamentale dell'istromento dell'Helmotz, il quale può, con alcune modificazioni nelle lenti del cannocchiale, permettere la mensurazione di oggetti anche remoti, o molto vicini.

Per misurare il raggio della cornea devesi produrre su di essa l'immagine di un oggetto esterno di grandezza e distanza conosciute; questa immagine viene osservata coll'oftalmometro nel modo indicato, cioè veduta doppia: dall'angolo delle lamine di vetro coll'asse visuale, e dall'angolo di rotazione di esse per ricondurre in contatto le due immagini si deduce la grandezza dell'immagine riflessa. La distanza dell'oggetto che dev'essere riflesso dalla cornea, dev'essere tale, che le piccole variazioni nella posizione dell'occhio sul quale si opera possano essere trascurate.

Inclinando le lamine in varii sensi, si può misurare il raggio della cornea in tutti i suoi diametri, transversali, perpendicolari od obliqui.

L'occhio osservato può essere diretto altresì in varie direzioni, cambiando il sito del punto che esso deve fissare durante l'esame. Si può così misurare ogni punto della cornea. Lo stesso risultato si può ottenere cambiando la direzione dei lumi che devono riflettersi sulla cornea.

I risultati ottenuti da tali sperimenti con calcoli, che non vogliamo riprodurre, sono numerosissimi ed hanno gettato una gran luce sopra molti punti essenziali della refrazione dell'occhio.

Ci basta ricordare gli elementi che servono di base a questi calcoli, ed i quali tutti sono forniti dagli sperimenti accennati.

Il foco di uno specchio convesso è uguale alla metà del suo raggio di sfera,... $f = {}^1/_2 r$; l'immagine di un oggetto lontano è sita nel fuoco dello specchio, od almeno non se ne discosta in un modo sensibile; la dimensione dell'oggetto e della sua immagine sono

proporzionate fra di loro come la loro distanza dallo specchio. La dimensione dell'immagine riflessa dalla cornea è in proporzione inversa del raggio di curva di essa.

La curvatura della cornea, astrazione fatta delle differenze individuali, dipende dalla pressione dei liquidi nell'occhio, onde ne risulta che il raggio di curvatura della cornea diviene maggiore coll' aumento di pressione endoculare. Si potrebbe forse conoscere un aumento di pressione intraoculare dall'esame della curva della cornea, prima che il dito dell' osservatore possa constatarla.

Questo metodo potrebbe far scoprire ogni minimo mutamento di curva della cornea nell' adattamento dell'occhio. Non è possibile, però come l'aveano diggià dimostrato Cramer e Senff, scoprire alcuna variazione della cornea negli sforzi di adattamento.

Helmoltz, il quale non aveva preso le sue misure che nel meridiano orizzontale della cornea, considerava la superficie esterna di essa come un elissoide di rivoluzione. Senff trovò, misurando i meridiani orizzontali e verticali, che i loro raggi non sono eguali. Il dottore Knapp, misurando i varii meridiani, provò che la superficie corneale deve essere considerata come un segmento centrale di un elissoide con tre assi.

Avremo campo più tardi di studiare l'assimetria dei raggi della cornea, parlando delle alterazioni delle visioni dovute all'astigmatismo. Ci basterà per ora di dare le misure principali, ottenute dall'Helmoltz, da Senff, da Donders e da Knapp.

Superficie interna della cornea. — Le mensurazioni anatomiche della cornea c'insegnano che lo spessore di questa membrana non è uguale in tutti i suoi punti. Helmoltz ha trovato però che tutti i tagli fatti nella metà centrale della cornea (poco tempo dopo la morte) hanno uno spessore uguale (1,37 millimetri). In distanza uguale dal centro alla periferia lo spessore è invece di 1,39 m.m., e verso il suo margine di 1,55 mill. Nel centro adunque la cornea ha un'azione analoga a quella di un vetro di orologio, e non a quella di una lente. Un vetro di orologio, in cui i raggi di curva delle due superficie (convessa e concava) sono uguali, ha il suo foco principale all' infinito, cioè non ha potere di rifrazione sensibile.

Esperimenti tentati dall'Helmoltz per misurare l'estensione dell' immagine riflessa alla superficie posteriore della cornea diedero risultati nulli. L'eccessiva vicinanza dell'immagine riflessa dalla faccia posteriore della cornea a quella riflessa dall'anteriore, e la lucentezza maggiore di questa escludono la possibilità di isolarle, ed inoltre provano il parallelismo delle due superficie. Tentativi fatti per rendere invisibile l'immagine anteriore col polarizzare i raggi che ne provengono, riuscirono inutili, probabilmente per lo strato di lagrime che bagna di continuo la cornea e che produce esso stesso un certo grado di refrazione. Del resto noi dobbiamo allo stesso fisiologo uno sperimento, il quale prova l'inutilità di tale ricerca.

Egli prese un recipiente di cristallo con angoli retti, e ripieno d'acqua nella quale veniva immersa una cornea; misurando coll' oftalmometro un angolo od un punto del recipiente coperto dall'acqua, non lo vide aumentare, nè diminuire di estensione, sia che i raggi passassero attraverso la cornea collocata nel bicchiere, sia che fosse tolta la cornea.

Da ciò risulta che la cornea imbevuta non ha potere di refrazione propria. Questo fatto viene spiegato, come già dicemmo, dacchè il centro corneale (del quale solo possiamo occuparci nei nostri studii, perchè l'iride non permette l'entrata nell' occhio dei raggi che penetrano per la periferia della cornea), ha le sue faccie parallele. Supponiamone infatti il raggio di 8 mill., lo spessore di 1, 3 mill., l'indice di refrazione di 1,386 (Brewster), la distanza del foco nell'acqua sarà di 1 metro, 1.

Possiamo adunque considerare l' umore acqueo estendentesi sino alla superficie anteriore della cornea e formare con essa una sola superficie di refrazione di cui conosciamo la curva.

Tale era il sistema già adottato dal Listing.

L'indice di refrazione dell'umore acqueo non varia anche trascorso un lungo tempo dopo la morte. Krause lo trovò uguale 24 ore dopo la morte, od appena dopo la sua uscita dalla camera anteriore; esso si conserva sempre uguale, e fu calcolato = 1,3366 dal Brewster; = 1,3365 dall'Helmoltz.

In tre osservazioni Helmoltz trovò il raggio del segmento centrale della cornea : =

1°	7,338	Mill.	Diametro orizzontale.
2°	7,646	»	
3°	8,154	»	

Knapp nella sua memoria dà una media di R=7,7705.
Donders, in 180 occhi trovò una media di 7,7 mill.

Abbiamo adunque tutti i dati richiesti per conoscere il fuoco della cornea. Per i raggi luminosi, i quali dall'aria entrano nell'occhio, la distanza del fuoco dalla superficie di refrazione viene trovato dalle formole già studiate:

$$F = \frac{n\,R}{n-1} \quad \text{ed} \quad F' = \frac{R}{n-1}$$

R è il raggio di curva della parte più centrale della cornea, n il rapporto di refrazione tra l'aria e l'umore acqueo.

Noi avremo secondo Helmoltz:

1° F (nell'aria)	= 21,800 mill.	F'=29,139	*Umore acqueo.*
2° F »	= 22,715 »	F'=30,361	» »
3° F »	= 24,225 »	F'=32,379	» »

Secondo Knapp: F=23,095 mill. F'=30,859 »

Secondo il Donders: F=22,88 mill. F'=30,58 »

CRISTALLINO.

È difficile assai il misurare sul vivo la forma e la curva delle superficie del cristallino. Le sole immagini riflesse da esso possono nell'occhio normale servire di base a tali ricerche. Ma tali immagini riflesse non offrono una intensità e chiarezza sufficiente per poterle dividere in due, come nel processo indicato sopra; sarebbe a ciò uopo adoperare una fiamma molto grande, ed allora la ristrettezza della superficie del cristallino non coperta dall'iride non permetterebbe di attuare un tale metodo.

Krause (il vecchio) avea trovato sul cadavere che il cristallino, nella sua superficie anteriore, rappresenta una superficie di rotazione paragonabile alla rotazione di un ellisse sul suo piccolo asse. Il Knapp misurando coll'oftalmometro e 24 ore dopo la morte il cristallino di un giovane di 20 anni ottenne un risultato analogo, poichè nel centro della superficie anteriore (segmento centrale) il raggio di sfera era di 9,3150 millimetri, ed ai

due lati, incirca nella metà tra la periferia ed il segmento centrale, il raggio era di 8,9790 millimetri, e 8,9678 millimetri. In un altro giovane invece egli trovò il raggio nel centro di 8,2187 millimetri, e di 9,5412 e 9,5500 sui due lati. In quest' ultimo caso il centro era adunque più convesso della periferia.

Siccome i raggi luminosi non passano che pel centro del cristallino, non abbiamo d'uopo di conoscerne la parte periferica, e possiamo considerare il segmento centrale come una curva conica. Lo stesso dicasi della superficie posteriore in cui il Knapp trovò nel centro un raggio di 5,5092, ed ai due lati di 5,9036 e 5,2612 millimetri. In un altro egli trovò un raggio di 5,1730 nel centro, e di 5,1604 e di 5,2360 nei lati.

I risultati ottenuti coll'oftalmometro non possono ch'essere di una grande esattezza, e risultati tanto diversi non possono essere attribuiti che ai cambiamenti di forma del cristallino fuori dell'occhio. Non v'è infatti chi non abbia osservato come un cristallino estratto colla sua capsula nell'operazione di cataratta o nel cadavere perde tosto la sua forma, sopratutto se immerso nell'acqua (1). In tale ultimo caso le due superficie, e l' anteriore specialmente, si fanno assai più convesse, e presto

(1) Il professore Sperino da anni ha soppresso il secondo tempo dell'operazione di cataratta per estrazione a lembo. Dopo il taglio corneale egli fa pressione sul bulbo per estrarre il cristallino, omettendo la lacerazione della capsula. Il cristallino esce avvolto nella sua capsula, se la cataratta è dura; se gli strati superficiali sono molli la capsula talvolta si lacera, ma quella lacerazione si fa sempre nel sito d'elezione, cioè dalla parte opposta al taglio, ed il segmento di capsula che rimane nell'occhio è sempre piccolissimo, in modo che viene coperto dall'iride. Tale operazione che toglie ogni pericolo di cataratta secondaria per opacamento capsulare, e nella quale si estrae tutto il cristallino, dà risultati assai più rapidi ed un numero di successi maggiore che i processi antichi. Nel cadavere è molto facile di estrarre il cristallino colla sua capsula quando si opera nello stesso modo che pell'operazione di cataratta. Mi sono anche convinto che è molto difficile di estrarre in questo modo il cristallino senza la sua capsula, qualunque sia stata la massima adoperata per lacerare la capsula. Alcune volte mi sono convinto che la fossetta ialoidea era rimasta intatta. Per accertarsi della presenza della capsula non si ha che da immergere il cristallino nell'acqua, ed a seconda della maggiore o minore densità delle parti superficiali del cristallino, più o meno presto si vede la capsula distaccarsi dalla sostanza cristallina.

il cristallino cambia talmente di forma che quasi ne scompare il margine. Il contrario avviene se si essica il cristallino.

Siccome i raggi luminosi non penetrano nell'occhio che per l'apertura pupillare, ci basterà per i nostri studi di conoscere la sede e la forma del segmento centrale delle superficie, e del cristallino, e la lunghezza dell'asse centrale della lente.

Distanza tra la cornea ed il cristallino.

È ammesso oggidì che non esiste camera posteriore e che l'iride trovasi a contatto del cristallino. L' opinione opposta si fondava specialmente sui tagli antero-posteriori del bulbo dopo congelazione, nei quali Petit, Haller, Budge aveano trovato sempre un piccolo strato di ghiaccio fra l'iride ed il cristallino. Cramer avea invece osservato sempre i due organi immediatamente applicati l'uno all' altro. Tali esperimenti fatti sul cadavere non offrono condizioni sufficienti di esattezza, giacchè i rapporti dell' iride col cristallino possono essere cambiati a seconda della rapidità della congelazione.

Le ricerche invece fatte sul vivo non lasciano dubbio che l'iride o per lo meno il margine pupillare di esso trovasi in perfetto contatto col cristallino. Concentrando sulla cristalloidea anteriore il fuoco di una lente, rendiamo quella membrana visibile pel riflesso dei raggi luminosi; e portando l'illuminazione sul margine pupillare, vediamo che esso trovasi perfettamente applicato sul cristallino, e ciò in tutti i movimenti della pupilla, sia dessa larga o stretta. La superficie anteriore del cristallino riflette un colore grigiastro che appare in contatto immediato coll'iride.

Si può fare questo sperimento alla luce naturale od artificiale. Collocata lateralmente una lente biconvessa tra l'occhio osservato e la luce naturale od artificiale che deve giungere alla pupilla, in modo che l'estremità del cono dei raggi luminosi cada obliquamente sulla cristalloidea, l'osservatore tenendosi in faccia all'occhio osservato, o meglio dalla parte opposta alla lente, vedrà facilmente qualunque oggetto sito nel punto di massimo concentramento dei raggi, qualunque sia il grado di trasparenza del cristallino.

Sarebbe d'altronde impossibile di spiegare come l'iride possa presentare una convessità nella sua superficie anteriore, se essa fosse veramente libera e fissa soltanto alla sua periferia, se essa insomma non appoggiasse sul cristallino.

L'esperimento dell'illuminazione laterale della cristalloidea con una lente biconvessa esclude inoltre l'obiezione che si potrebbe fare, come in alcune cataratte veggasi l'ombra dell'iride. Non trattasi d'altro che di cataratte centrali, al davanti delle quali la cristalloidea e parte della sostanza cristallina periferica sono trasparenti.

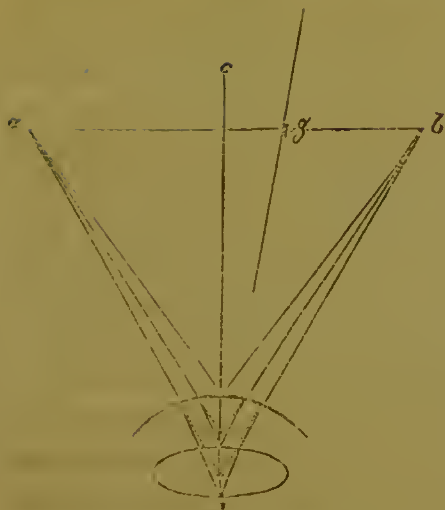
Nè vale il dire che nell'operazione di cataratta per scleroticonissi l'ago si vede passare agevolmente fra il cristallino e l'iride senza interessare quest'ultima, giacchè in questo caso il chirurgo passa dietro la cristalloide anteriore, la quale si conserva sempre trasparente. Difatti per poco si cerchi di portare l'ago in avanti vedrassi l'istromento attraversare la cristalloidea, e divenire più chiaramente visibile nella camera anteriore.

Collo sperimento delle tre immagini del Sanson si può seguire l'immagine riflessa dalla superficie anteriore del cristallino sin contro il margine pupillare.

Si può adunque conoscere la distanza che separa la cornea dal cristallino, misurando lo spazio che esiste tra la cornea ed il margine pupillare.

L'immagine riflessa dalla cornea di un oggetto remoto e collocato sull'asse della cornea stessa, sta apparentemente dietro la cornea ad una distanza uguale al mezzo raggio di curva del suo segmento centrale. L' iride stessa, per la rifrazione attraverso l'umore aqueo e la cornea, *appare* aumentata di dimensioni e più vicina alla cornea. Calcolando la distanza tra il sito apparente dell'immagine riflessa dalla cornea e la sede ugualmente apparente del margine pupillare, si può dedurne le loro vere distanze e dimensioni, come anche la sede del piano della pupilla. La distanza apparente (reciproca tra il riflesso corneale ed il margine pupillare) e la loro distanza vera non offrono che una differenza piccolissima; l'immagine riflessa della cornea è sita dietro la pupilla apparente.

Una fiamma piccola e viva è collocata ad una distanza di due


Fig. 30.

metri al davanti dell' occhio osservato (in *c* figura 30), il capo essendo tenuto quanto si può immobile. Accanto al lume, e nello stesso piano orizzontale, trovasi un punto di mira per l' occhio osservato, ad una distanza ugualmente per lo meno di 2 metri.

In un angolo di 16 gradi incirca, misurato sui due lati della linea media, viene disposto un oftalmometro, dapprima a destra poscia a sinistra, (in *a* ed in *b* fig. 29) in modo da vedere in queste due posizioni dell'oftalmometro il riflesso normale del lume. Viene misurata così la sede apparente dell'immagine riflessa della cornea; infatti conoscendo l'angolo che formano due linee convergenti verso un oggetto, si può calcolare la distanza in cui trovasi questo oggetto; le due linee convergenti sono rappresentate dalla direzione che venne data all' oftalmometro per poter veder l'immagine riflessa della cornea, nelle due posizioni indicate (*c* e *d*). Il raggio della cornea essendo conosciuto, si calcola facilmente la sede vera dell'immagine riflessa, la quale trovasi in una distanza dalla cornea $= 1/2\ r$.

Ciò fatto, si deve esaminare la distanza in cui trovasi la pupilla, e si continua lo sperimento nel modo seguente:

Il punto di mira, che l' occhio osservato deve seguire nei suoi movimenti laterali, è collocato in modo che l'immagine del lume riflessa dalla cornea sia veduta nel mezzo del campo pupillare dall' osservatore che la fissa attraverso l' oftalmometro disposto in *b*. Tale risultato è ottenuto quando, colla rotazione delle lamine dell'oftalmometro, le due immagini opposte (immagine del lume riflessa dalla cornea e vista doppia attraverso l'oftalmometro) coprono due punti diametralmente opposti del margine pupillare. Si misura inoltre l'angolo che la linea visuale *d g* (dell' occhio osservato) forma colla linea *c d* di unione dell'occhio alla fiamma. Il medesimo sperimento viene ripetuto collocando l'oftalmometro a sinistra, cioè in *a*.

La deviazione della linea visuale *g* dall'asse della cornea *c d* essendo conosciuta, si deve calcolare l'angolo che l'asse della cornea forma colla linea mediana (linea di unione dell'occhio osservato colla fiamma), sia quando l' osservatore esamina a destra, sia quando egli esamina a sinistra l'immagine riflessa ed apparente della cornea nel centro della pupilla. Da ciò si deducono i due angoli compresi fra l' asse della cornea e le due linee di osservazione attraverso l'oftalmometro. Il punto verso il quale convergono le dùe linee di osservazione *a* e *b* indica il sito occupato dal centro dell'immagine apparente della pupilla, di cui si è misurata la dimensione apparente.

Quando si conosce la sede apparente della pupilla, ne viene dedotta la sede reale calcolando la refrazione che devono subire i raggi luminosi nel loro passaggio dall'umore aqueo nell'aria; così viene misurata la distanza, che separa la pupilla dal polo della cornea.

In questi calcoli non si tien conto naturalmente che del raggio del segmento centrale della cornea, e non si tien conto dell'errore dovuto alla differenza di raggio dei suoi varii meridiani.

In tre casi Helmoltz trovò la distanza del piano della pupilla dal polo corneale:

1° 4,024 mill. — 2° 3,597 — 3° 3,739.

La distanza del punto centrale della pupilla dall' asse corneale, dal lato del naso:

1° 0,032 mill. — 2° 0,333 — 3° 0,304.

Per calcolare quanto il centro della superficie anteriore della lente è sito in avanti del cerchio pupillare Helmotz aveva misurato il diametro orizzontale della pupilla, che era:

5,01 — 3,41 — 3,56 mill.

In quattro casi Knapp ottenne risultati poco diversi, che possiamo consultare più avanti. (Vedi tabella pag. 60, 61).

Rapporto reciproco dell'asse della cornea e della superficie anteriore del cristallino.

Helmoltz, come l'abbiamo veduto or ora, trovò che l'asse del centro della cornea non corrisponde col centro della pupilla; una sola volta egli trovò un concentramento perfetto.

In tre occhi Knapp trovò la stessa deviazione, ma in senso inverso; in un occhio miope egli trovò un concentramento quasi perfetto. Si può collo sperimento seguente del Knapp provare che le superficie del cristallino e della cornea non sono concentriche.

Si colloca un lume in *a* (fig. 29) al davanti dell'occhio osservato, e sotto un angolo uguale a quello sotto cui l'osservatore collocato in *b* trovasi rispetto all' occhio che osserva. Nel centro (in *c*) ed alla distanza ordinaria è collocato un punto di mira.

La linea di unione tra l' occhio osservato ed il punto di mira (*d c*), e la linea che riunisce l' occhio osservato col lume (*d a*) devono formare un angolo uguale all' angolo formato dalle linee d'unione dell' occhio osservato col punto di mira e dell'occhio osservato coll'occhio dell'osservatore: ($a d c = c d b$).

Il punto di mira deve essere disposto in guisa che l'immagine riflessa dalla superficie anteriore del cristallino trovisi in mezzo fra le immagini riflesse dalla cornea e dalla superficie posteriore del cristallino, cioè sulla stessa linea.

Se l'osservatore poscia si colloca nel sito prima occupato dal lume, questo essendo trasportato al luogo dell'osservatore, mentre tutto il rimanente sta nel sito primitivo, la sede reciproca delle tre immagini non dovrebbe cambiare se le tre superficie fossero concentrate, come si vede delineato dalla figura 29: *a* e *b* rappresentano i siti occupati dall'osservatore ed il lume; *c d* è la linea sulla quale sono vedute le tre immagini; *g* è la linea visuale.

Così avvenne in un occhio osservato dal Knapp; infatti non fu necessario di muovere il punto di mira che di 0°,25', per ricondurre nella seconda parte dello sperimento l' immagine anteriore del cristallino nel centro. Negli altri occhi invece la differenza fu maggiore.

La linea visuale e l'asse corneale formavano fra di loro un angolo, il quale, misurato dai movimenti indicati del punto di mira, per ricondurre le tre immagini sulla stessa linea, fu trovato in 4° casi:

Dal lato del naso:	Dal lato tempiale:
6° 48'	4° 50'
6° 22'	3° 40'
7° 56'	4° 36'
5° 39'	6° 4'

Tali calcoli sono approssimativi; infatti si suppone uguale la distanza che separa una dall'altra le tre immagini riflesse.

Sede del segmento centrale della superficie anteriore del cristallino nella visione di oggetti vicini.

Nelle mensurazioni finora esposte gli occhi osservati fissavano un punto di mira collocato in grande distanza (più di 2 metri). Per misurare la sede del cristallino nella visione in vicinanza si deve solo variare la sede del punto di mira, senza cambiare nulla nel metodo di mensurazione. Un filo di seta sospeso, collocato dapprima ad una distanza di 70 a 130 millimetri in avanti della cornea, serve di punto di mira. Questo filo viene avvicinato poscia il più che è compatibile colla visione distinta; poscia misurasi nel modo indicato la sede della pupilla. Questo sperimento, quantunque difficile, diede al Knapp dei risultati precisi, che si possono consultare nella tabella pag. 60, 61, nella quale noi vediamo che allorquando l'occhio dalla visione in lontananza, si adattava per la visione in vicinanza, il piano della pupilla si portò in avanti:

Nel	1°	caso	di: Mm.	0,5581
»	2°	»	» »	0,5540
»	3°	»	» »	0,6479
»	4°	»	» »	0,6354

In queste ricerche si trovò altresì che il punto centrale del piano della pupilla, il quale nella visione in lontananza era stato trovato sempre (sperimenti di Knapp) all'interno dell'asse corneale, si portava maggiormente ancora dal lato del naso nella visione in vicinanza. La pupilla non si restringe adunque ugualmente in tutti i suoi lati. Nella sua dilatazione l'escursione delle fibbre raggiate esterne è maggiore di quella delle fibbre interne. Inoltre il segmento centrale della superficie anteriore del cristallino si porta incirca di 0,1 mill. in avanti, il che sarà da calcolare più tardi col raggio di curva per la determinazione dei punti cardinali.

La distanza del punto centrale della pupilla dall' asse corneale (Knapp) nella visione in distanza, era:

Nel	1°	caso	di :	Mm.	0,3439
»	2°	»	»	»	0,2245
»	3°	»	»	»	0,3649
»	4°	»	»	»	0,2855

Il punto centrale della pupilla si portò nell' adattamento pella vicinanza maggiormente all'interno di :

Nel	1°	caso	di :	Mm.	0,0596
»	2°	»	»		0,0439
»	3°	»	»		0,1374
»	4°	»	»		0,0934

Raggio di curva della superficie anteriore del cristallino.

Siccome le immagini riflesse dalla superficie anteriore del cristallino sono un po' irregolari, poco lucenti, potrebbesi difficilmente misurarle direttamente coll'oftalmometro. Helmoltz immaginò misurare la grandezza dell'immagine riflessa dal cristallino, confrontandone il diametro col diametro di un'immagine riflessa dalla cornea, di cui avea misurate le dimensioni nel modo indicato. Egli faceva cadere sulla cornea la luce di due piccoli lumi nel modo che verrà indicato nel Capitolo quarto (vedi fig. 41), cioè in modo da avere due immagini riflesse collocate perpendicolarmente l'una sopra l'altra, ed in modo che avvicinando fra di loro i due lumi che devono essere riflessi egli potesse dare alle sue due immagini corneali una distanza reciproca variabile e calcolabile.

La distanza fra i due lumi misura la dimensione dell'oggetto, e la distanza fra le due immagini riflesse misura la dimensione dell' immagine corneale.

Dalla superficie anteriore del cristallino, egli otteneva nella stessa guisa due immagini riflesse. Aggiustando i lumi che servono pel riflesso corneale, in modo che le due immagini corneali

coprissero esattamente le due immagini riflesse della superficie anteriore del cristallino, egli ottenne un' immagine cristallina di dimensione apparentemente uguale alla dimensione dell'immagine corneale. Calcolando in seguito la distanza del cristallino della cornea, la refrazione subita dai raggi nel loro passaggio dall'umore acqueo nell'aria, la sede reale delle immagini corneale e cristallina, la distanza dell'oggetto dall'occhio e la sua grandezza, egli ne dedusse la dimensione reale dell'immagine.

Infatti, conoscendo le dimensioni di un oggetto e la sua distanza da uno specchio convesso, di cui si conosce la lunghezza del mezzo raggio di sfera, si può calcolare qual'è la distanza nella quale l'immagine dell'oggetto riflessa dallo specchio viene a formarsi, e le dimensioni di quest'immagine. Ed è questo il caso per la cornea, di cui conosciamo il raggio di sfera; la distanza dell'immagine riflessa dalla cornea viene facilmente misurata; lo stesso dicasi delle dimensioni dell'immagine.

D'altra parte conoscendo il sito nel quale si forma l'immagine di un oggetto di dimensioni conosciute, riflessa da uno specchio convesso, e conoscendo ugualmente le dimensioni di quest'immagine riflessa, si può calcolare il raggio di sfera o curva dello specchio. Tale sarà il caso pel cristallino.

« La dimensione delle immagini di oggetti lontani, che i si-
« stemi di riflessione producono, sono in ragione diretta del foco
« del sistema, cioè: se due sistemi diversi producono immagini
« riflesse uguali di oggetti disuguali, ma collocati in distanze
« uguali, il loro foco deve essere in ragione inversa della dimen-
« sione degli oggetti ».

Gli oggetti che devono fornire le immagini riflesse dalla cornea e dal cristallino devono trovarsi in una grande distanza, tale cioè che le loro immagini riflesse si trovino nel foco principale, cioè ad una distanza uguale alla metà del raggio di sfera.

« Le immagini riflesse da uno specchio convesso si formano
« in una distanza dallo specchio uguale alla metà del raggio
« di sfera dello specchio, se gli oggetti sono collocati in una
« distanza per lo meno uguale a 100 volte il mezzo raggio di
« sfera. Al di là di tal distanza le variazioni nel foco non sono
« sensibili ».

La sperimentazione non deve adunque avere che un solo fine, di ottenere cioè un'immagine riflessa dalla cornea uguale all'immagine riflessa dal cristallino, cioè di potere a volontà aumentare o diminuire le dimensioni dell'oggetto che deve essere riflesso dalla cornea. La sua immagine, di cui si può conoscere facilmente le dimensioni, sarà resa uguale in questo modo alle dimensioni dell'immagine riflessa dal cristallino, e servirà inoltre di misura all'ultima.

Naturalmente non si misurano in questo modo che le dimensioni apparenti dell'immagine riflessa dal cristallino: infatti i raggi luminosi subiscono una rifrazione attraversando l'umore acqueo e la cornea, ed il foco dipende perciò non solo dalla superficie di riflessione (cristallino), ma anche dalla curva della cornea e dalla distanza di questa dal cristallino. La sede e le dimensioni reali dell' immagine vengono calcolate colle formole di un sistema di riflessione composto da una superficie di riflessione ed una superficie di rifrazione, cioè di una lente composta di vetri convessi-concavi.

La sperimentazione condotta in tal guisa diede in 3 casi i risultati seguenti (Helmoltz):

Allorquando l'occhio fissava un oggetto collocato in grande distanza egli trovò il mezzo raggio di curva del segmento centrale della superficie anteriore del cristallino:

nel 1° caso = 11,9 mm. (millimetri)
nel 2° caso = 8,8 mm. id.
nel 3° caso = 10,4 mm. id.

Allorquando l'occhio 1° ed il 2° fissavano oggetti vicini all'occhio, il raggio di curva fu trovato:

nel 1° = 8,6 millimetri
nel 2° = 5,9 millimetri

In due lenti cadaveriche egli trovò coll'oftalmometro il raggio di curva della superficie anteriore del cristallino uguale a 10,2 ed 8,9 millimetri, il che corrisponde bene coi risultati ottenuti sul vivo nella visione in lontananza.

Sede e raggio di curva della parte mediana della capsula posteriore del cristallino.

Per precisare la sede della capsula posteriore devonsi ripetere gli esperimenti, mediante i quali viene determinata la sede della capsula anteriore. Ma lo studio diviene più difficile perchè non si ha l' iride per punto di confronto, e perchè la capsula posteriore non è visibile da sè. È necessario adunque di ottenere un'immagine riflessa dalla superficie posteriore del cristallino. Conviene fare in modo che l'osservatore veda 2 volte per un riflesso della luce lo stesso punto della capsula posteriore, esaminando cioè questo punto in due direzioni opposte. Si procede come nell'esperimento per conoscere la sede della capsula anteriore. Dopo di avere cercato in *b* (fig. 29) il riflesso *d* di un lume *a* dalla capsula posteriore, l'occhio dell'osservatore si porta sul punto preciso occupato prima dal lume, ed il lume è portato sul punto occupato prima dall'occhio dell'osservatore, cioè da *a* in *b*, e da *b* in *a*. Allora il lume, i cui raggi riflessi dalla capsula posteriore penetrano nell'occhio dell'osservatore, il quale ne vede il riflesso, segue precisamente (in senso inverso) la via che seguiva nella prima posizione dell'occhio e del lume; il lume deve necessariamente essere riflesso dallo stesso punto della capsula. Nei due esami, cioè nelle due posizioni opposte in cui vengono collocati l'osservatore ed il lume, si cuopre quella luce riflessa dalla capsula con un'immagine corneale di cui si conosce la sede, e si può dedurne la sede apparente del punto della capsula che ha riflesso la luce; questo punto trovasi nel sito d' intersecazione delle due suesposte ed opposte linee visuali dell'osservatore attraverso le dette immagini riflesse dalla cornea.

Questa distanza apparente dell'immagine non deve essere molto discosta dalla vera distanza, trovandosi molto vicina al punto nodale posteriore del sistema diottrico oculare.

La curva della superficie posteriore del cristallino viene misurata nello stesso modo che pella superficie anteriore di essa, paragonando cioè le dimensioni di un'immagine riflessa dalla superficie del cristallino con un'altra immagine riflessa dalla cornea e di dimensione conosciuta.

Fu provato in questo modo che nell'adattamento per piccole

distanze la capsula posteriore diviene un po' più convessa indietro, senza cambiare di sede in un modo sensibile. La lente adunque diviene più spessa nel suo centro.

Tali misure però non offrono la precisione che abbiamo trovato nelle misure della capsula anteriore e della cornea. La difficoltà dell'esperimento e la supposizione che l'immagine riflessa dalla capsula posteriore si formi nel punto nodale posteriore del sistema oculare lasciano qualche dubbio sul valore assoluto dei risultati ottenuti.

Helmoltz trovò nei tre casi già studiati il mezzo raggio di curva:

1° caso = 5,83 millimetri
2° caso = 5,13. »
3° caso = 5,37. »

Spessore del cristallino.

La distanza tra la capsula anteriore e la posteriore, epperciò lo spessore del cristallino, possono facilmente essere calcolati, conoscendo la distanza nella quale trovansi l'una e l'altra dalla cornea.

Abbiamo infatti, secondo Helmoltz:

		MILLIMETRI		
		1° CASO	2° CASO	3° CASO
Distanza del Polo della cornea	Dalla superficie interna del cristallino . . .	7,172	7,232	7,141
	Dalla pupilla	4,014	3,597	3,739
	Spessore della lente .	3,148	3,635	3,409

Indice di refrazione del cristallino.

Sarebbe un errore il credere che l'indice di refrazione della sostanza del cristallino vada calcolato dall'indice del suo nucleo. Il cristallino è composto da strati di densità diverse. La densità e l'indice di refrazione di questi strati vanno aumentando dalla periferia al centro. Seguendo dall' avanti all' indietro la refrazione subita dai raggi che li attraversano, noi vediamo che in ogni strato i raggi devono avvicinarsi alla normale fino al centro. Dal centro poi alla parte posteriore i raggi si allontanano in ogni strato dalla perpendicolare. Fino al nucleo adunque, i raggi incontrando superficie convesse e passando successivamente da un mezzo meno refrangente in un mezzo più refrangente, i raggi si avvicinano fra di loro. Uguale cosa avviene dal centro alla faccia posteriore della lente: i raggi passano da mezzi più refrangenti in mezzi meno densi, per superficie concave, essi devono pure avvicinarsi all' asse del fascio al quale appartengono. Una lente composta da strati di densità diversa e disposti in tal modo, deve adunque avere un foco molto più breve (ed i suoi punti capitali sono molto meno separati fra di loro), che una lente la quale avrebbe una forma eguale, ma un indice di refrazione uguale in tutti i suoi strati. L'indice di refrazione del cristallino nell'umore vitreo fu calcolato da Helmotz = 1,4519 e 1,4414; il che corrisponde alle misure di Listing $= \frac{16}{11} = 1,4545$.

L'indice di refrazione dal cristallino fuori dell'occhio e nell'aria atmosferica è maggiore, od, in altre parole, il cristallino gode di una potenza di refrazione minore allorchè trovasi nell'occhio; collocato in mezzo all'umore acqueo e l'umore vitreo, il cristallino refrange meno i raggi luminosi che se esso li ricevesse direttamente dall'aria atmosferica. Infatti la differenza di densità, epperciò l'indice di refrazione, è maggiore tra l'aria ed il cristallino, che fra l'acqueo od il vitreo e la sostanza cristallina. De Haldat, raccogliendo su di una lamina di vetro (colla quale venivano rimpiazzate le membrane profonde nel polo posteriore di occhi estratti di fresco), le immagini di oggetti esterni fornite dai mezzi diottrici, aveva conchiuso dai suoi sperimenti che la cornea è quasi senza influenza sul luogo di formazione delle immagini. Infatti, sia ch'egli sperimentasse in un occhio intatto o dopo di averne esportato la cornea e l'umore acqueo, il

foco dei raggi luminosi paralleli si formava in una distanza (dal polo della cornea) sempre esattamente uguale al diametro antero-posteriore dell'occhio. Il signor Giraud-Teulon il quale, servendosi di un microscopio per osservare meglio la sede delle immagini, potè rettificare alcune altre osservazioni erronee del De Haldat, ottenne pure risultati identici, sia che i raggi provenissero dall'infinito o da una distanza di 2". Questo fatto, come lo dice il Giraud-Teulon, non prova già che la cornea non ha azione nella formazione delle immagini retinee, ma che la cornea e l'umore aqueo paiono dare ai raggi luminosi incidenti sul cristallino un'inclinazione che li conduce alla medesima distanza focale alla quale giungerebbero dei raggi paralleli penetranti direttamente dall'aria nella lente. Questa interpretazione è la sola che si possa ammettere, e che non sia in opposizione colle leggi diottriche ed agli studi fatti sulla produzione dell'astigmatismo nelle irregolarità di curvatura della cornea.

L'apparecchio diottrico oculare consta di due sistemi di refrazione:

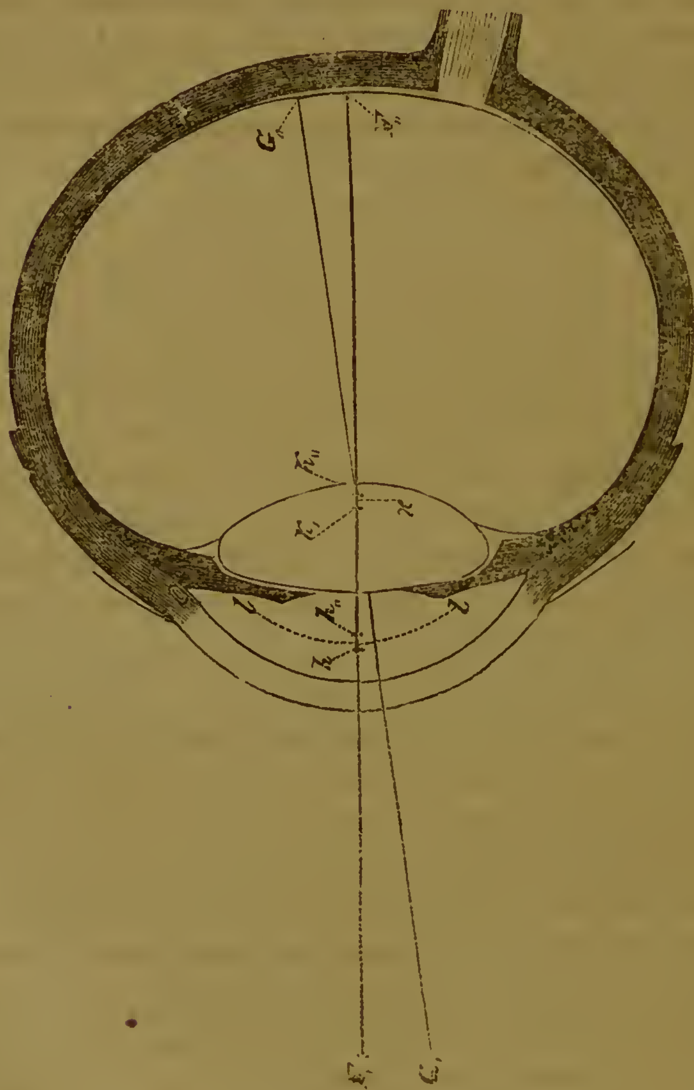
1° Il primo composto dall'aria e dall'umore acqueo limitato di una superficie convessa. La refrazione della luce va calcolata dal raggio di sfera della superficie anteriore della cornea, e dal rapporto tra la refrangibilità dell'aria e quella dell'umore acqueo, la cornea, per se stessa non avendo alcun potere proprio di refrazione.

2° Il secondo sistema rappresentato dal *cristallino* o lente che giace tra l'umore acqueo e l'umore vitreo, cioè fra due mezzi di densità uguale.

Noi abbiamo veduto nel cap. 1°, § 6°, che è possibile di ridurre ad un solo qualunque sistema diottrico formato da corpi dotati di refrangibilità diverse, e limitati da superficie sferiche. Listing ridusse in questo modo i due sistemi diottrici dell'occhio in un solo sistema, che fu detto *occhio ridotto*, il cui disegno schematico è rappresentato nella figura 30: *h' h"* sono i punti capitali; delle linee perpendicolari all'asse principale ed abbassate attraverso questi punti rappresenterebbero i piani capitali, cioè il sito ove le due basi dei coni formati da

un fascio luminoso prima e dopo la sua refrazione sono identiche fra di loro; *K'* *K'* rappresentano i punti nodali; un asse secondario *G'*, diretto in *K'* ha dopo la refrazione totale la direzione *K''* *G''*; *F'* ed *F''* rappresentano i punti focali principali, anteriori e posterori.

Fig. 21



Per agevolare gli studi e procurare alla pratica delle formole più semplici si può ridurre *i due punti nodali in un sol punto* x intermedio tra *K'* e *K''*; lo stesso

può essere fatto pei punti capitali, tirando una linea *l l* intermedia ad *h' h''*. L'occhio viene ridotto ad una semplice linea curva limitante un corpo dotato di un indice medio di refrazione$=^{16}/_{11}$ (Listing). L'occhio ridotto del Listing viene rappresentato adunque da un corpo trasparente, dotato di un indice di refrazione $=^{16}/_{11}$, e limitato da una superficie convessa, il di cui raggio sarebbe 5,1248 =mill., questa superficie convessa *l l* di limitazione si troverebbe alla distanza di 2,3448 mill. dietro la superficie anteriore della cornea, e di 0,4764 mill. al davanti della lente.

Basterà adunque, conoscendo il punto nodale *(centro ottico)*, di tirare da un punto luminoso una linea retta attraverso quel punto *x*, e verso la retina, per conoscere il punto della retina sul quale si formerà l'immagine del punto luminoso. La direzione di quella linea rappresenta diffatti l'asse del fascio luminoso emesso dal punto luminoso stesso, ed è detta *linea di direzione della visione*; il punto *x*, punto nodale unico, è detto *punto d'incrocicchiamento delle linee di direzione*. In una parola, l'occhio in questa riduzione sarebbe analogo al sistema studiato nel § 4° del cap. 1°

La determinazione del sito occupato dai punti cardinali nel sistema diottrico oculare va desunta dall'indice di refrazione dell'umore acqueo, del cristallino e dell'umore vitreo (l'indice di refrazione del vitreo non è sensibilmente diverso dall'indice di refrazione dell'umore acqueo), e dai raggi di curva delle superficie limitanti. Siccome la superficie anteriore del cristallino è più convessa allorquando l'occhio fissa oggetti vicini, che quando esso viene diretto sovra oggetti distanti, la posizione dei punti cardinali deve pure variare. Per servirsi di un paragone molto espressivo del Listing, immaginiamoci un filo di metallo, suscettibile di venir alungato per mezzo del calore. Questo filo, una delle

estremità del quale poggia sulla retina, attraversa l'occhio nella direzione dell'asse principale del sistema. Ebbene su di esso, (supponiamolo caldo), vengono marcati i punti cardinali; esso rappresenta l'occhio nel suo stato di minima refrazione. Raffreddandosi il filo, tutti i punti cardinali si avvicinano fra di loro, e rappresentano nel loro avvicinamento le mutazioni che noi dobbiamo immaginarci avvenire nella sede reciproca dei punti cardinali dell'occhio a seconda del grado maggiore o minore di refrazione del sistema diottrico oculare.

Nella tabella seguente, riassunto (in ciffre decimali) delle mensurazioni del dottore Knapp, il lettore potrà seguire facilmente gli studi che abbiamo esposti in questo capitolo, come pure i risultati dei calcoli coi quali vengono determinati: la sede dei punti cardinali nei due sistemi diottrici di cui l'occhio si compone, il sito occupato dai medesimi punti nel sistema composto o totale, ed i mutamenti che avvengono in questi sistemi quando si modifica il potere di refrazione nell'occhio (vedi pag. 60 e 61).

Nelle teorie del nostro Lagrange esisteva una lacuna: egli non aveva tenuto conto dello spessore delle lenti; e nel sistema diottrico oculare, lo spessore della lente è tale che non può essere trascurato nelle formole diottriche. Gauss nella sua teoria riparò a tale omissione. La riduzione del sistema diottrico oculare fatta dal Listing, secondo le formule di Gauss, è certamente la più esatta fra le riduzioni oculari. La teoria delle sue determinazioni dei punti cardinali, delle distanze e dimensioni focali, lascia poco a desiderare; ma potrà dirsi lo stesso della sua determinazione delle costanti diottriche dell'occhio, cioè la determinazione pratica di

questi punti cardinali è dessa sufficiente o perfettamente esatta?

Ricordiamoci prima di tutto che i calcoli di Gauss riposano sull'ipotesi, che i raggi considerati nel loro tragitto attraverso i mezzi oculari siano pochissimo inclinati sull'asse. Così non avviene nell'occhio, ed Helmholtz, nell'applicare all'occhio schematico di Listing i risultati delle sue mensurazioni, non tralasciò di constatare che l'apparecchio diottrico oculare gode di un vantaggio immenso, che non hanno gli altri stromenti dello stesso genere: i raggi luminosi che giungono ad esso in una direzione di quasi 90° coll'asse principale, convergono verso la stessa direzione, che i raggi i più avvicinati all'asse.

Qual' è dunque la parte dell' apparecchio diottrico alla quale l'occhio va debitore di tal vantaggio? Per chi esamina gli sperimenti coi quali si è cercato di precisare gl' indici di refrazioni dei mezzi oculari, riesce manifesto che tutti gli osservatori trovarono nella non omogeneità del cristallino uno scoglio che nessuno finora potè evitare. Il cristallino è composto di un'infinità di strati concentrici e di densità diversa; in ognuno di questi strati i raggi vengono refratti, ed in ciascheduno l'indice di refrazione dovrebbe essere calcolato. Nel cristallino dovrebbesi inoltre ricercare se gli strati della lente godano di un potere refrangente diverso alla periferia e verso il suo asse centrale: diversità di potere di refrazione, la quale sola potrebbe spiegarci la formazione di un foco unico per tutte le inclinazioni dei raggi sull'asse principale del sistema diottrico.

Se adunque le misure possono ritenersi come perfettamente esatte per ciò che spetta alla cornea, ed anche alla superficie anteriore del cristallino, non così può dirsi delle determinazioni dell'indice di refrazione del cristallino, e nemmeno della convessità e della sede della superficie posteriore di questo; infatti, vennero

CONSTANTI DIOTTRICHE

NELLA VISIONE IN VICINAN

Indice di refrazione dell'umore acqueo nel calcolo del sistema della cornea, 1,3365 (Helmholtz) . . . .

Indice di refrazione dell'acqueo e del vitreo nell'altro sistema $\frac{103}{77}$ (1,336) (Listing) . . . .

Indice totale di refrazione della lente cristallina $\frac{16}{11}$ (1,145) (Listing, Helmholtz) . . . .

MENSURAZIONI.

Raggio di curva del polo della cornea nel suo meridiano orizzontale
Id. id. della superficie anteriore del cristallino . . Mm.
Id. id. id. posteriore id. . . .
Sede del polo anteriore della lente (dietro il polo della cornea) .
Id. id. posteriore id. (id. id. id.) .
Spessore del cristallino . . ..

Foco anteriore della cornea . . . .
Id. posteriore id. . . . .
Foco della lente (nell'umore acqueo) . . . . . .
Distanza del punto capitale ant.^{e} della lente dalla sua superficie anteriore
Id. id. id. post.^{e} id. id. posteriore
Distanza dei due punti capitali dalla lente fra di loro . . .
Foco posteriore dell'occhio . . . .
Id. anteriore id. . . . .
Sede del foco anteriore dell'occhio (al davanti della cornea) . .
Id. id. posteriore id. (dietro il polo della cornea) .
Sede del primo punto capitale dell'occhio id. id. .
Id. del secondo id. id. id. id. .
Id. del primo punto nodale dell'occhio . id. id. .
Id. del secondo id. id. . id. id. .
Distanza dei punti capitali dell'occhio fra loro id. id. .
Sede del punto nodale post.^{e} dell'occhio al davanti della superficie post.^{e} del cristallino . . . .
Sede del punto nodale posto al davanti del centro di curva e del polo anteriore della cornea (centro di curva del diametro orizzontale) .
Avanzamento del punto nodale posteriore nell'adattamento . .

NTI CARDINALI DELL'OCCHIO

NELLA VISIONE IN LONTANANZA

OCCHI							
1.		2.		3.		4.	
CINANZA	LONTANANZA	VICINANZA	LONTANANZA	VICINANZA	LONTANANZA	VICINANZA	LONTANANZA
,7705	7,7705	8,0303	8,0303	7,1653	7,1653	7,2053	7,2053
,2972	5,9213	7,9459	4,8865	7.8600	4,8076	9,0641	5,0296
,3546	4,6585	5,4867	4,9536	6,9012	5,6098	6,4988	5,0855
,5924	3,0343	3,6073	3,0533	3,3774	2,7295	3,4786	2,8432
,5127	7,5127	7,4568	7,4568	7,1534	7,1534	7,1011	7,1011
,9203	4,4784	3,8485	4,4035	.3,7760	4,4239	3,6225	4,2579
3,095	23,095	23,864	23,864	21,294	21,294	21,413	21,413
0,859	30,859	31,895	31,895	28,459	28,459	28,559	28,559
8,176	31,971	37,706	29,222	41,449	30,944	43,133	30,939
,2420	2,3180	2,1655	2,0859	1,9488	1,9239	2,0117	1,9447
,4484	1,9416	1,4591	2,1107	1,5989	2,2871	1,3845	2,1032
,2299	0,2188	0,2249	0,2069	0,2283	0,2129	0,2263	0,2100
8,640	17,165	18,742	16,650	18,265	16,085	18,607	16,150
3,951	12,847	14,023	12,458	13,666	12,035	13,951	12,109
1,819	10,696	11,8646	10,2671	11,9098	10,2252	12,175	10,230
1,180	19,759	21,347	19,313	20,4011	18,3212	20,7465	18,440
,1321	2,1506	2,1584	2,1909	1,7562	1,8089	1,7758	1,8739
,5400	2,5939	2,6055	2,6633	2,1361	2,2362	2,1395	2,2903
,821	6,469	6,8774	6,3829	6,3552	5,8594	6,432	5,915
,2289	6,9123	7,3245	6,8553	6,7383	6,2852	6,7957	6,3324
,4079	0,4433	0,4471	0,4724	0,3799	0,4264	3,3637	0,4174
,2830	0,6004	0,1323	0,6015	0,4183	0,8682	0,3054	0,7687
,5416	0,8582	0,7058	1,1750	0,4270	0,8801	0,4096	0,8729
0,3166		0,4692		0,4499		0,4633	

calcolate la sede ed il grado di convessità della capsula posteriore partendo dall'ipotesi che già si conoscesse il sito occupato, nell'occhio, dal punto nodale posteriore del sistema diottrico oculare.

L'applicazione della teoria di Gauss al sistema diottrico oculare serve di base alla più gran parte dei lavori odierni sulla refrazione oculare, e sarebbe difficile di valersi di questi studi senza conoscere i principii dai quali vengono inspirati tali lavori. Questi principii furono esposti nel capo 1°; ma non dobbiamo esagerarcene il valore, e sopratutto noi non dobbiamo dimenticare altri studii e lavori anche essi di somma importanza ed utilità pratica.

Già abbiamo veduto che De-Haldat, e più tardi il signor Giraud-Teulon misurarono le distanze (dietro il cristallino) in cui vengono a formarsi le immagini fornite dai mezzi diottrici e le dimensioni di queste immagini, raccogliendole su di una lamina di vetro. Il sig. Giraud-Teulon cercò, coi risultati ottenuti nelle sue esperienze, di stabilire la sede di un *centro ottico* unico secondo il sistema di Euler e di Lagrange. Egli calcolò, misurando il rapporto di distanza che esiste fra un oggetto e la sua immagine nell'occhio, che il punto d'incrocicchiamento dei raggi non deviati (o *centro ottico* dell'occhio) trovasi sempre dietro il cristallino, ed in un punto molto vicino al centro di curva della superficie sferica sensibile, il quale è nello stesso tempo *centro dei movimenti* del bulbo oculare.

Questi risultati non si discostano da quelli già ottenuti da Wolkman e da Vallèe, in un sperimento ripetuto con uguale successo dal Giraud-Teulon. Un occhio fresco di coniglio albino viene sospeso intorno ad un filo verticale. Questo filo passa pel centro del diametro equatoriale, cioè 8^m, 5^m in avanti del piano verticale tangente posteriormente alla sclerotica. L'asse verticale è parallelo al piano della circonferenza della cornea.

Un lume è collocato alla distanza di 1 metro al davanti del polo della cornea. Si fa girare l'occhio a destra ed a sinistra, presentando la cornea in tutte le inclinazioni, da 0° fino a 180° colla direzione della fiamma, e si osserva allora che in *tutte queste posizioni*, l'immagine dalla fiamma sulla retina rimane esattamente nell'asse del filo. Aprendo l'occhio, Giraud-Teulon trovò sempre che il filo passava da $\frac{1}{2}$ ad 1^{mm} dietro la superficie posteriore del cristallino. Una sol volta il filo fu trovato tangente alla capsula posteriore (nel coniglio la cristalloide posteriore corrisponde quasi al centro del bulbo).

Quando il filo si trovava solamente in una distanza di 5 o 7^{mm} al davanti della retina, egli osservò che nei movimenti indicati di rotazione del bulbo, l'immagine retinea si trasporta *verso lo stesso lato del filo* che la cornea; l'immagine retinea ed il filo non trovansi più nella stessa linea.

In questo sperimento, se il centro ottico, o punto d'incrocicchiamento degli assi non corrisponde al sito occupato dal filo, l'immagine retinea non può conservare il medesimo rapporto col filo nei movimenti dell'occhio. Se il centro ottico ed il centro di rotazione non sono collocati nello stesso punto (dell'asse antero posteriore), se il centro ottico, per es., si trova al davanti del centro di rotazione (come lo sarebbe nell'occhio schematico di Listing) il primo, e per conseguenza anche l'immagine retinea, non devono trovarsi sulla linea del filo, che allorquando il lume si trova sulla linea dell'asse antero posteriore, cioè in faccia al polo della cornea.

Il sig. Giraud-Teulon volle sperimentare sull'occhio vivo, ed i suoi risultati non furono diversi. Noi vedremo più avanti che riesce possibile di osservare coll'oftalmoscopio l'immagine dipinta sulla retina di un lume esterno fissato dall'occhio osservato. Nei movimenti laterali o dall'alto al basso dell'occhio osservato, o del-

l'occhio osservatore, non è possibile di constatare alcuna deviazione o spostamento dell'immagine retinea. L'immagine retinea rimane sempre nel medesimo asse, e per conseguenza corrisponde sempre alla linea che attraversa il centro di rotazione. Il centro ottico ed il centro di rotazione o movimento corrispondono l'un coll'altro.

Partendo da questa determinazione del centro ottico, il sig. Giraud-Teulon fece una riduzione del sistema diottrico oculare, la quale offre il vantaggio di non pregiudicare il potere di refrazione, non ancora esattamente conosciuto, del secondo sistema diottrico (cristallino). La sede del centro ottico ed il foco posteriore (retina) furono il punto di partenza de'suoi calcoli. Quest'occhio schematico può essere ridotto in un modo analogo all'occhio di Listing, collocando il centro ottico nel centro del bulbo, dietro il cristallino, ad una distanza uguale dalla cornea e dalla retina, cioè di 11^m 50^m, supponendo il diametro della sfera $=23^{mm}$. L'indice di refrazione del liquido contenuto in quest'occhio dovrebbe essere $=2$.

Si potrebbe ugualmente adottare per le dimostrazioni cliniche un altro schema dello stesso autore, supponendo tutto l'apparecchio di refrazione concentrato al centro ottico o centro di figura del bulbo, e rappresentato da una lente sferica avente una potenza focale di $\frac{1}{11,50^{mm}}$ in tal caso i due mezzi situati avanti e dietro la lente avrebbero un indice di refrazione $=1$.

Questa lunghezza focale di $11,50^{mm}$ fu adottata dal Giraud-Teulon in seguito ai suoi sperimenti, nei quali egli avea trovato l'immagine retinea formarsi in una distanza di 3^{mm} dietro il foco principale (dei raggi paralleli), allorquando l'oggetto veniva collocato in una distanza di 2" (54^{mm}); questi dati corrispondono adunque colle cifre che rappresentano l'azione accomodatrice dell'organo.

Chiamando f la lunghezza focale di una lente che darebbe a $14^m,50^m$ ($11,50^{mm}+3$) l'immagine di un oggetto collocato a 54^m dalla cornea, noi dobbiamo avere:

$$\frac{1}{54}+\frac{1}{14,50}=\frac{1}{f}=\frac{1}{11,50}$$ (distanza focale dell'apparecchio diottrico).

Siccome ben vedesi, v' è un punto della diottrica oculare, il quale non fu studiato sinora che in modo assai incompleto, voglio dire la posizione reciproca degli assi dei sistemi componenti l'apparecchio diottrico oculare. Non parlando della sperimentazione fatta sull'occhio del coniglio, che l'esame oftalmoscopico ci dimostra essere molto ipermetropo, e nel quale, per conseguenza, il punto nodale posteriore deve occupare una sede più centrale che nell'occhio umano, io dirò che altri sperimenti dello stesso autore mi lasciano nel dubbio sul valore dell'interpretazione che egli ha dato a' suoi sperimenti. Nel vivo il cristallino fu trovato di rado perfettamente concentrico colla cornea; esso inoltre è suscettibile non solo di movimenti intrinseci e dall'avanti all'indietro, ma pure, e lo vedremo in seguito, di movimenti di lateralità e sul proprio asse. Non potrebbero questi movimenti riparare agli effetti indicati della non coincidenza del centro di rotazione del bulbo col centro ottico dell'apparecchio diottrico?



CAPITOLO III.

Della visione studiata in alcuni de' suoi rapporti colla sede occupata dalla retina, rispetto al foco dell'apparecchio diottrico oculare

---

Visione perfettamente distinta e visione con cerchi di diffusione.

La forma e la struttura dell'occhio, nel quale noi troviamo un diaframma analogo al diaframma della camera oscura (iride e pupilla) ed un sistema diottrico composto di più superficie sferiche, indicano che tutti i raggi che partono da un punto di un oggetto esterno devono, dopo di avere attraversato i mezzi oculari di refrazione, riunirsi di nuovo in un solo punto. Per conseguenza, dietro queste superficie di refrazione, e nel piano in cui ha luogo l'incrocicchiamento dei raggi d'ogni fascio emesso dall'oggetto, deve formarsi una immagine dell'oggetto capovolta ed impicciolita. Negli occhi in cui era stato misurato il raggio di curvatura delle superficie di refrazione, e calcolato il foco principale posteriore dal rapporto di queste curvature coll'indice di refrazione degli umori dell'occhio, fu trovato che i raggi luminosi emessi da un oggetto veduto distintamente devono riunirsi dietro il cristallino ad una distanza che corrisponde benissimo colla sede occupata dalla retina, la quale cosa collima coi risultati ottenuti ogni giorno in pratica in un altro modo più semplice.

Che si formi un'immagine capovolta degli oggetti esterni dietro il cristallino, è fatto provato da speri-

menti bene conosciuti. Venga collocato un lume od altro oggetto al davanti di un occhio estratto di fresco, ed in cui si sia tolta la sclerotica e la coroidea nella parte posteriore, si vedrà dipingersi sulla retina l'immagine capovolta dell'oggetto, purchè questo sia di dimensioni sufficienti. In questi sperimenti l'immagine dipinta sulla retina non è abbastanza esatta perchè si possano vedere i cambiamenti che avvengono in essa quando l'oggetto esterno si avvicina, o si allontana dall'occhio.

La retina tappezza la faccia interna del guscio oculare nel suo segmento posteriore, ed è destinata a ricevere l'impressione della luce. La sensibilità di essa va gradamente diminuendo dal centro alla periferia; ognuno infatti può convincersi che non esiste visione perfettamente distinta degli oggetti esterni che nel centro del campo visivo, al punto cioè che connette un oggetto fissato colla parte più centrale del polo posteriore dell'occhio. Nei nostri studii non intendiamo occuparci che della visione che spetta alla parte più centrale e più sensibile della retina, la quale sola riceve immagini esatte degli oggetti esterni.

Quasi al centro del polo posteriore dell'occhio la retina presentasi modificata nella disposizione degli elementi che la compongono. Tale regione, chiamata dall'Anatomia infossatura o macchia gialla, per la forma e pel colore che presenta sul cadavere, viene considerata in Fisiologia quale la parte più sensibile della retina; in essa deve formarsi l'immagine capovolta dell'oggetto esterno affinchè abbia luogo la visione distinta.

Quando noi esaminiamo il fondo dell'occhio coll'oftalmoscopo, ravvisiamo facilmente la sede di tale regione alla assenza dei vasi. Nel mezzo di questo spazio senza vasi visibili puossi vedere talvolta facilmente un punto più chiaro e di un riflesso più splendente, che Coccius crede essere la macula lutea. Donders ha provato che questo riflesso più chiaro appare sempre nel punto della re-

tina occupato dall'immagine ottica dell'oggetto che sta fissando l'occhio osservato. Scelgasi per tale sperimento un individuo di capelli biondi che non sia miope e nel quale la pupilla sia naturalmente dilatata.

L'osservatore si colloca in faccia all'occhio osservato tenendo al davanti del proprio occhio uno specchio piano (oftalmoscopio), col quale egli manda nell'occhio osservato i raggi luminosi d'una fiamma collocata al dissopra od a lato del capo dell'osservando. L'osservatore si colloca come nell'esame oftalmoscopico, in modo da vedere distintamente e diritti gli elementi retinei nella regione della macula. L'osservato deve fissare il lume nello specchio: dal momento che l'occhio osservato è accomodato per tale oggetto, vedesi, nel sito stesso occupato prima dal riflesso più chiaro di Coccius, l'immagine capovolta e distinta del lume. Per constatare l'esattezza dell'immagine retinea è meglio di servirsi, per punto di fissazione all'occhio osservando, del micrometro che il Donders ha adattato allo specchio di Epckens, oppure di un filo collocato al davanti dello specchio di Helmholtz. Quando l'adattamento dell'occhio osservato varia, cioè quando l'occhio non è fissato in modo da vedere distintamente l'oggetto, scompare l'immagine retinea dell'oggetto, rimanendo però visibili gli elementi retinei.

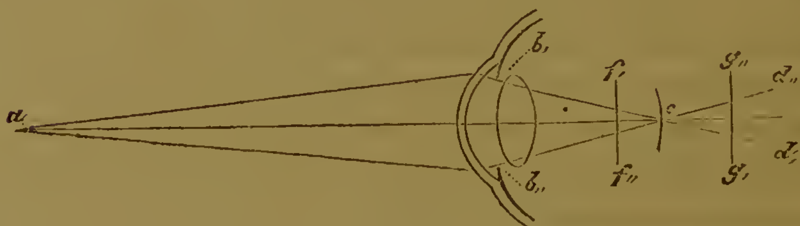
Il Giraud-Teulon ripetendo questo sperimento in un modo analogo, trovò che facendo portare l'occhio ora a destra ora a sinistra, l'immagine riflessa del lume non cambia posizione, nè si modifica (l'occhio essendo accomodato per l'oggetto). Da quel fatto egli conchiuse che il centro ottico trovasi nel centro di rotazione dell'occhio. (V. cap. 2).

Se la retina si trova nel foco dei raggi emessi dall'oggetto veduto, l'immagine retinea è simile al suo oggetto.

Quando la retina si trova precisamente nel foco posteriore dell'apparecchio diottrico oculare (cioè sul piano

in cui ha luogo l' incrocicchiamento dei raggi di ogni fascio luminoso emesso dall'oggetto veduto), l'oggetto è rappresentato esattamente nell'immagine retinea. Ogni fascio luminoso mandato nell'occhio dall'oggetto colpisce un punto della retina, a lui proprio ed isolato dai punti colpiti dagli altri fasci. Se invece la retina si trova al davanti o dietro il foco, l'immagine retinea non può essere esattà, ed i vari punti dell'oggetto si confonderanno l'uno coll'altro in essa.

Fig. 32.



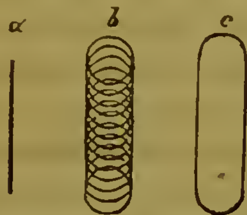
Seguendo (fig. 32) i raggi luminosi che partono dal punto *a*, noi vediamo che essi dopo di avere attraversato la pupilla di forma rotonda, devono formare un cono luminoso, di cui la base rotonda come la pupilla, è volta in avanti *b'b''*, e l'apice indietro, nel punto *c*. Sia questo punto *c* sulla retina, in essa si formerà l'immagine del punto *a;* ma sia collocata la retina al davanti o dietro di *c* (in *f'f''*, od in *g'g''*), in essa si dipingerà non più un punto luminoso, ma un segmento rotondo del cono luminoso. Tale cerchio o superficie rotonda d'illuminazione formata sulla retina dalla luce emessa da un punto luminoso è detto *cerchio di diffusione*.

Con uno sperimento semplice si può studiare l'effetto dei cerchi di diffusione sulla visione. Al davanti di una lente biconvessa sia collocato in una certa distanza un lume, o meglio una lamina di latta annerita e pertugiata da un foro rotondo attraverso il quale la luce arrivi sulla lente; dietro la lente è collocato un foglio di carta bianca; in allora vedesi facilmente che se il foglio è collocato in una certa distanza, l'im-

magine del punto luminoso si forma esattamente sul foglio di carta, ma al di qua ed al di là di questa distanza quell'immagine si allarga, conservandosi però rotonda.

Se invece di un punto viene collocato al davanti della lente una linea luminosa, p. e. una fessura stretta in una lamina di latta annerita e dietro la quale sta il lume, i cerchi di diffusione di ognuno dei punti luminosi di questa linea si coprono nel modo rappresentato in *b*, ed invece della linea *a*, osserviamo una figura simile a *c* (al di qua ed al di là del fuoco, quando cioè il foglio di carta viene portato in avanti o dietro il foco, lasciando in sito il foglio di carta). Se noi avviciniamo la linea luminosa verso la lente, vediamo prodursi ugualmente i cerchi di diffusione.

Fig. 33.



Se noi lasciamo il foglio sul quale si riceve l'immagine nella posizione in cui l'immagine era dipinta in un modo preciso, vediamo che finchè il lume è collocato al di là di 100 volte la distanza focale principale della lente, l'immagine rimane precisa in forma di linea stretta, come in *a*, ma che da quella distanza i cerchi di diffusione aumentano lentissimamente, allargandosi l'immagine finchè poi il lume essendo in vicinanza della lente, i cerchi aumentano più rapidamente assai coll'avvicinamento del lume.

Non è possibile che si formino nel medesimo tempo sulla retina immagini perfette di più oggetti esterni collocati in distanze diverse, perchè il foco posteriore dell'occhio, o sito in cui si forma l'immagine esatta di essi, deve essere diverso pei varii oggetti, a seconda della loro distanza al davanti dell'occhio.

Non è possibile cioè, di vedere distintamente nello stesso tempo oggetti collocati in varie distanze; cambiando le distanze l'occhio deve accomodarsi in modo da condurre il foco dell'oggetto sulla retina.

Ognuno può convincersi della verità di questa proposizione con uno sperimento semplicissimo. Si tenga spiegato al davanti dell'occhio ed in una distanza di 6 pollici incirca, un tessuto di fili sottili con maglie larghe: al di là, nella stessa linea di fissazione ed in una distanza di 2 piedi, trovisi un libro. Riesce facile di leggere lo stampato attraverso le maglie larghe del tessuto. Se l'occhio si fissa alternativamente sui caratteri di stampa

e sul filo del tessuto, gli uni e l'altro saranno veduti successivamente in un modo distinto; ma non si arriva mai a vedere distintamente l'uno e l'altro oggetto nello stesso tempo, perchè l'occhio non riceve sensazione esatta e distinta che dall'oggetto ch'egli fissa più particolarmente, dell'oggetto cioè che si dipinge esattamente nella retina.

Quando un oggetto viene avvicinato od allontanato, l'occhio stesso ha coscienza che avvengono in esso dei cambiamenti, e ch'egli deve fare degli sforzi per adattarsi a queste varie distanze.

Dicendo che un oggetto non è veduto in un modo perfettamente distinto se la retina non è precisamente nel piano focale dei raggi emessi da questo oggetto, non vuolsi con ciò intendere o credere che manchi affatto la percezione od anche la visione dell' oggetto. Lo spazio della retina compreso nei coni luminosi e colpito da questi (*immagine retinea*), avrà una forma, una disposizione diverse secondo la sede occupata dalla retina rispetto al foco; ma, purchè la quantità di luce compresa nell'immagine retinea sia sufficiente, e cuopra la quantità voluta di elementi retinei, la percezione avrà luogo. Questa però dovrà poi essere affatto confusa, se i raggi dei varii punti distintivi dell'oggetto saranno fra di loro confusi nella retina, cioè se si confonderanno negli stessi elementi retinei. La disposizione stessa dei cerchi di diffusione potrà far nascere delle illusioni di visione non solo nella forma, ma anche nella disposizione e nel coloramento di essi. Non sarà adunque inutile di fissarci su alcuni di questi fenomeni, la conoscenza dei quali può guidarci in pratica. L'esempio che segue ci spiegherà bene come riesca possibile alla retina di percepire in un modo abbastanza esatto degli oggetti esterni dipingentisi su di essa con cerchi di diffusione; cioè come sia possibile la visione d'un oggetto esterno, malgrado che la sua immagine retinea non si trovi nel foco principale.

Supponiamo che sia data a vedere una lettera composta di due gambe nere separate da un intervallo bianco, p. e. | |

Deve formarsi sulla retina un'immagine di questa lettera, cioè due linee nere, limitanti uno spazio intermedio bianco. Sulla retina adunque formansi tre immagini, una bianca e due nere; l'adattamento essendo perfetto, il foco di ogni punto luminoso emanato dall'oggetto formasi sulla retina, e l'immagine retinica è simile all'oggetto veduto. Il rapporto tra le dimensioni delle immagini nere e la estensione dell'immagine bianca è uguale nell'oggetto e nella sua immagine retinica. Che il foco si trovi invece al di qua od al di là della retina, questa non riceve più che cerchi di diffusione. Le linee nere dell'immagine si allargano a misura che aumentano i cerchi di diffusione; dalla loro parte interna queste linee fattesi più larghe per i cerchi di diffusione, invadono lo spazio intermedio che li separa, restringendo l'immagine retinea bianca. Fino a tanto però che fra queste linee conservasi un dato spazio intermedio, non coperto del tutto dai cerchi di diffusione, la lettera viene distinta ancora, sebbene in modo meno esatto. Infatti la dimensione delle due immagini retinee nere essendo maggiore, ed all'incontro l'immagine retinea intermedia essendo diminuita, la retina sarà impressionata in modo da percepire due linee nere più larghe ed uno spazio intermedio bianco meno esteso di quello che lo è in realtà. Inoltre i margini delle linee nere di diffusione saranno veduti meno scuri che il centro di esse, epperciò male limitati, ma la lettura della lettera potrà ancora avere luogo.

Ma supponiamo aumentarsi ancora la larghezza dei cerchi di diffusione; viene un momento in cui la visione della lettera non riesce più possibile. Cosa avviene allora?

Affinchè la retina venga impressionata sufficientemente per vedere, l'immagine retinea deve avere per

lo meno una data estensione, cioè coprire un numero sufficiente di elementi retinei.

Quando l'immagine intermedia bianca, invasa dai cerchi di diffusione delle linee nere, diviene ristretta in modo che non vengano più coperti da essa un numero bastante di elementi retinei, la percezione dello spazio bianco intermedio della lettera non può più effettuarsi isolatamente perchè essa si confonde colla percezione delle linee nere.

In questa interpretazione non abbiamo tenuto conto che dei cerchi di diffusione delle immagini nere. Ognuno intende facilmente che l'immagine retinica bianca, essa pure formata da cerchi di diffusione, deve invadere e confondersi coi cerchi di diffusione delle altre immagini, ed accelerare l'impossibilità della visione colla miscela e la diminuzione del contrasto fra i due colori.

Nell'esperimento già notato del Donders per iscoprire nella retina il sito occupato dall'immagine ottica di un oggetto esterno, è facile di constatare direttamente che l'immagine ottica retinea stessa subisce dei cambiamenti a seconda dell'adattamento. Esaminando coll'oftalmoscopio (immagine diritta) un occhio il quale fissa un oggetto collocato in grande distanza, si può scoprire sulla retina l'immagine di un lume collocato pure in grande distanza (o dal quale partano raggi paralleli), e nello stesso tempo vedonsi distintamente gli elementi retinei (vasi, ecc.). Se però si avvicina il lume, l'occhio osservando mantenendosi fissato sempre sovra l'oggetto collocato in distanza, vedesi l'immagine della luce farsi successivamente più confusa, allargarsi e poscia scomparire quando il lume è giunto ad una vicinissima distanza. A questo punto l'osservatore può vedere gli elementi retinei come prima; ma i raggi provenienti dal lume essendo divenuti divergenti a misura che il lume si è avvicinato, il loro foco deve formarsi dietro

la retina, perchè l'occhio è rimasto accomodato in modo che la retina si trovi nel foco dei raggi paralleli; e quindi l'immagine deve scomparire. Lo sperimento può ugualmente farsi avvicinando senza più l' oggetto che serve di punto di mira, e lasciando a sito il lume.

Se gli oggetti fissati sono molto lontani dall'occhio, la loro distanza può cambiare notevolmente senza che la distanza della loro immagine ottica dal punto capitale dell'occhio si alteri sensibilmente. Se l' occhio ha un grado di refrazione tale che i raggi luminosi paralleli abbiano il loro foco nèlla retina, cioè se è adattato per vedere ad una distanza *infinita*, i cerchi di diffusione per gli oggetti collocati a 12 metri saranno ancora talmente piccoli, che l'immagine retinea non sarà cambiata.

Ma se l'occhio fissa un oggetto sito in piccola distanza, le immagini retinee di altri oggetti collocati in distanza anche piccola (al di là od al di qua dell'oggetto fissato) vengono tosto rese confuse dai cerchi di diffusione.

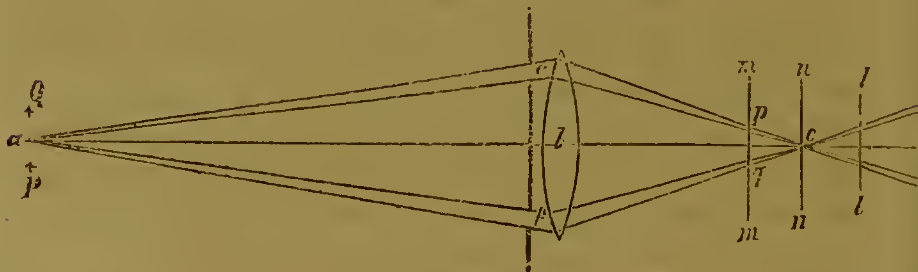
Il tratto della linea visuale nel quale gli oggetti possano essere veduti distintamente, essendo supposto un grado determinato di refrazione oculare, è detta dal Czermach *linea di accomodamento*. Cioè l'occhio essendo accomodato per un punto della linea visuale (*punto* di adattamento), l'immagine di questo si forma precisamente sulla retina; al di qua ed al di là di quel punto esiste una certa estensione della linea, in cui i cerchi di diffusione, ancora minimi, non possono impedire la formazione esatta dell'immagine retinea. L'estensione della linea di adattamento aumentata a misura che la distanza dall'occhio al punto di adattamento si fa maggiore, e per una distanza molto grande essa diviene infinita. Questo fatto viene provato dallo sperimento seguente:

Una lamina di vetro piana, trasparente, e sulla quale fu dipinto un piccolo punto nero è disposta al davanti di

un foglio stampato (in una distanza fissa di 12 pollici). Se l'apparecchio viene avvicinato verso l'occhio fino alla distanza minima in cui riesca possibile ancora di vedere distintamente il punto nero, non avviene mai che si possa vedere in un modo distinto nello stesso tempo i caratteri di stampa ed il punto nero. Invece allontanando il vetro ed il libro, la confusione nella quale appariva il carattere di stampa diminuisce sempre più in ragione dell'allontanamento, finchè poi diviene possibile la visione distinta di ambo gli oggetti nello stesso tempo.

Poniamo (fig. 34) al davanti di una lente biconvessa un diaframma oscuro perforato per due piccole aperture *e* ed *f*; in *a* sia collocato un lume (o punto luminoso), e *c* sia il punto d'incrocicchiamento (o foco) dei raggi dopo il loro passaggio nella lente; vediamo che tutti i raggi che passano per le aperture *e* ed *f* si incrocicchiano nel punto *c*, ed un foglio di càrta collocato in quel punto riceverà un'immagine chiara ed unica. Ma se il foglio viene collocato in *m m*, od in *l l*, si formeranno sul foglio due immagini (o punti illuminati). Se si chiude il foro *f*, si vedrà che scomparisce l'immagine inferiore o corrispondente se il foglio è collocato in *m*; manca invece l'immagine superiore, se il foglio di carta è collocato dietro *c*. La figura stessa lo indica.

Fig. 34.



Si metta al davanti della lente un sipario con tre aperture, disposte come *a* (fig. 35), si formeranno anche tre immagini sul foglio di carta collocato in *m* od in *l* (fig. precedente); in *m* le tre immagini saranno disposte come in *b*, in *l* invece saranno in senso inverso *c*.

Fig. 35.





Scheiner instituì uno sperimento semplicissimo per verificare se il foco di un oggetto esterno trovasi perfettamente sulla retina. Un foglio di carta, nel quale furono praticati con un ago 2 pertugi la di cui distanza reciproca sia minore del diametro della pupilla, è collocato al davanti dell'occhio, ed attraverso i due forellini si fissa un piccolo oggetto. Questo può essere delineato bianco su di un fondo scuro, o viceversa; si può scegliere un ago contro una parete illuminata di fianco.

L'ago è tenuto verticale se i forellini del foglio di carta sono tenuti orizzontali, e viceversa. Si fissi l'ago, lo si vede unico, perchè l'occhio è adattato in modo che la retina si trovi nel foco stesso dei raggi emessi dall'ago (in *c* fig. 34); se invece si fissa lo sguardo su di oggetto più avvicinato verso l'occhio o verso un oggetto collocato al di là dell'ago, si vedono due aghi, l'uno e l'altro più confusi, perchè la retina si trova in *ll* od in *mm* (fig. 34). Si chiuda col dito uno dei forellini quando si fissa l'ago stesso, questo è veduto ugualmente; se invece l'occhio fissa un oggetto al di qua od al di là dell'ago in modo da vedere due aghi, uno degli aghi scompare. Se l'occhio fissa un oggetto più avvicinato, scompare l'immagine sinistra, coprendo il foro destro; e se si fissa un oggetto più lontano, scompare l'immagine destra chiudendo il foro omonimo.

Se il foglio di carta ha tre buchi disposti come in *a* (fig. 35), si vedranno tre aghi disposti come in *b*, se l'occhio fissa un oggetto al di qua dell'ago, e come in *c* se viene fissato un oggetto al di là dell'ago.

Tale risultato pare essere in opposizione con quanto abbiamo veduto accadere nell'esperimento sovra esposto. Ma non dobbiamo dimenticare il principio secondo il quale si effettua la percezione dell'impressione ricevuta dalla retina. Qualunque sia il modo col quale viene eccitato un punto od elemento della retina, l'encefalo trasporta l'impressione ricevuta fuori dell'occhio ed in

un punto di una linea la quale, partendo dal punto impressionato della retina, correrebbe attraverso il punto nodale delle linee di direzione.

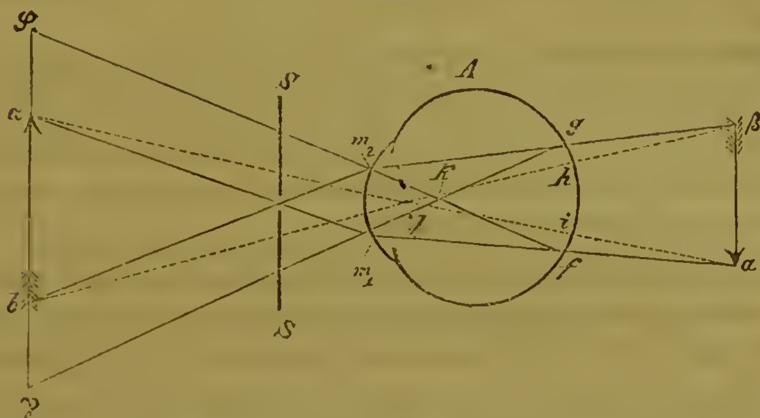
Così nella visione normale vedonsi tutti i punti di un oggetto esterno nella loro vera posizione, quantunque la parte più superiore dell'oggetto corrisponda alla parte inferiore dell'immagine retinea, il limite esterno dell'oggetto col limite interno dell'immagine, ecc. Perciò *q* (fig. 34) sarà veduto fuori dell'occhio e trasportata in *Q*, e l'immagine *p* in *P*, quando il foco *c* del punto *a* si troverà dietro la retina, quando cioè l'occhio fisserà un oggetto più lontano. Se invece l'occhio si fissa per una distanza minore di *a* (ago), la retina si trova dietro *c* (foco del punto *a*), ed il raggio *a c*, il quale nel caso antecedente colpiva la parte superiore della retina, incontra invece questa membrana in *c*, cioè inferiormente, e chiudendo il foco superiore, scomparirà l'immagine superiore *Q*.

Se noi fissiamo un oggetto attraverso un forellino fatto in un foglio di carta e collocato immediatamente al davanti dell'occhio, noi possiamo vedere quell'oggetto anche in una distanza per la quale l'occhio non può accomodarsi, e ciò perchè i coni luminosi che entrano nell'occhio divengono più esili, epperciò saranno anche più limitate le loro sezioni, dalle quali viene colpita la retina.

Così pure se noi fissiamo un oggetto molto vicino all'occhio, lo vediamo con cerchi di diffusione e confuso, ma osservandolo attraverso un forellino, i cerchi di diffusione diminuiscono, e lo vediamo più distinto ed ingrandito. L'ingrandimento dell'oggetto sarà tanto maggiore quanto più il foglio di carta col suo forellino sarà allontanato dall'occhio.

Sieno (fig. 36) *a* e *b* due punti luminosi dell'oggetto, *S* un sipario opaco

Fig. 36.



perforato, *A* l'occhio. Dal punto *a* cade attraverso il forellino il solo raggio $am1$ e dal punto *b* il solo raggio $bm2$. $\beta\alpha$ è l'immagine corrispondente all'oggetto *ab*. Così il raggio am^1 va, dopo la sua refrazione, in α e colpisce la retina in *f*; il raggio $bm2$ va invece in β ed incontra la retina in *g*. Si facciano da *f* e *g* le linee $f\varphi$ e *gy* attraverso il punto nodale dell'occhio *k*, avremo così le direzioni in cui nella visione ordinaria dovrebbero stare i punti luminosi *a* e *b* per dipingersi in *f* ed in *g*, epperciò giudichiamo che i punti *a* e *b* trovansi in φ ed in *y*; l'oggetto cioè è veduto più grande.

Se il foglio di carta pertugiata si avvicina all'occhio verso il punto *l*, si vede facilmente che i punti *f* e *g* si avvicinano pure fra loro, e che perciò anche l'immagine retinea diverrà in tal caso minore e l'oggetto *a b* non sarà più veduto così grande.

Togliamo il foglio di carta, ogni punto luminoso dell'oggetto è dipinto sulla retina da un cerchio di diffusione. I punti mediani delle immagini diffuse retinee dei punti *a* e *b* sono adunque meno allontanati fra di loro che i punti *f* e *g* ove dipingeansi quei punti per l'interposizione del forellino. Il punto mediano del cerchio di diffusione viene determinato dall'asse del cono luminoso, cioè dal raggio che ha passato pel punto centrale della pupilla. Sia *l* quel punto: il raggio che partito da *a* va in *a'* per *l*, incontra la retina in *i*... ed il raggio che da *b* va in β per *l*, incontra la retina in *h*.... I punti *h* ed *i* sono adunque i punti mediani delle immagini di diffusione. Questi punti *h* ed *i* rappresentano i limiti dell'immagine retinea dell'oggetto *a b*, perchè essi sono i limiti della parte più illuminata della retina; al di là di questi punti la retina non viene colpita diffatti che da un numero comparativamente minore di raggi luminosi che nello spazio compreso fra *h* ed *i*, e non riceve che un'impressione comparativamente oscura e confusa. Quando adunque non viene interposto il foglio di carta vedesi che i punti *h* ed *i* sono più avvicinati fra di loro, e l'oggetto, oltre all'essere veduto più confuso, appare più piccolo.

Si guardi invece attraverso un forellino oggetti lontani, mentre l'occhio è accomodato per una piccola distanza, gli oggetti appaiono più piccoli, e tanto più piccoli quanto più il forellino si allontana dall'occhio.

Quando punti luminosi esterni trovansi in varia distanza, ma sulla stessa linea di fissazione, un solo viene dipinto perfettamente sulla retina, quello cioè che è fissato dall'occhio, gli altri sono rappresentati sulla retina da cerchi di diffusione. Si ammette che due punti si coprono esattamente quando il punto veduto esattamente sta nel punto mediano dell'immagine di dispersione dell'altro.

Una *linea* tirata per due punti che si coprono è detta *linea di visione.*

Tutte le linee di visione s'incrocicchiano in nn medesimo punto dell'occhio, cioè nel punto mediano dell'immagine della pupilla proiettata dalla cornea; quel punto è detto: *punto d' incrocicchiamento delle linee di visione.*

Gli *angoli visuali* sono in correlazione con quanto venne esposto. Se si dice che oggetti, che appaiono nello stesso angolo visuale, sono veduti di grandezza apparentemente uguale, si deve collocare l'apice dell'angolo visuale nel punto d'incrocicchiamento delle linee di fissazione (fig. 36 *l*). Lo si colloca però ordinariamente nel punto d'incrocicchiamento delle linee di direzione (centro ottico o meglio nei punti nodali); viene così misurata la dimensione *vera* dell'immagine retinea, calcolandola dal punto in cui tali linee incontrano la retina.

Se trattasi del caso, in cui due punti veduti, sono veduti diretti fra di loro, lo si dovrebbe collocare nel punto di rotazione del bulbo oculare. Per oggetti molto lontani, la grandezza dell' angolo non sarebbe cangiata in questo modo, ma lo sarebbe per oggetti avvicinati all'occhio.

Listing ha calcolato le dimensioni dei cerchi di diffusione per ognuna delle distanze comprese tra l'infinito e 88 millimetri dal foco anteriore dell'occhio. Egli fece il suo calcolo in un occhio accomodato invariabilmente per l'infinito cioè nel quale i raggi luminosi paralleli (che vengono dall'infinito), hanno il loro foco sulla retina. Per un punto collocato all'infinito non abbiamo adunque nessun cerchio di diffusione. Abbiamo veduto diggià che si deve tener conto della dimensione della pupilla; infatti diminuendo la base del cono, devono diminuirne tutti i segmenti, nelle varie distanze dalla base in cui si esamina la larghezza della sezione. Per calcolare il diametro del cerchio di diffusione devesi dividere la distanza che corre tra l'im-

magine e la retina colla distanza dell'immagine dal centro della pupilla (proiettata dal cristallino), e moltiplicare pel diametro della pupilla. La distanza L^1 dietro la retina, in cui deve formarsi l'immagine, viene trovata colla formola

$$L^1, L^2 = F^1, F^2.$$

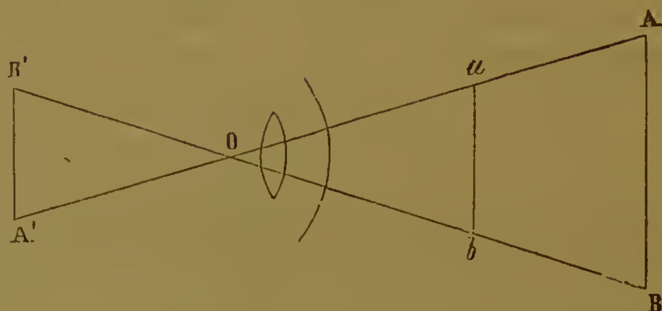
in cui L^2 indica la distanza tra il punto luminoso esterno ed il punto focale anteriore principale dell'occhio. Sia la retina nel foco principale posteriore, ed abbia la pupilla un diametro di 4 mill. noi avremo, secondo il Listing:

DISTANZA del punto luminoso dal piano focale anteriore	DISTANZA dell' immagine dalla retina	DIAMETRO dei cerchi di diffusione
metri	metri	metri
65,0	0,005	0,0011
25,0	0,012	0,0027
12,0	0,025	0,0056
6,0	0,050	0,0112
3,0	0,100	0,0222
1,5	0,200	0,0443
0,75	0,40	0,0825
0,375	0,80	0,1616
0,188	1,60	0,3122
0,094	3,20	0,5768
0,088	3,42	0,6484

Si vede quanto poco cangia la sede dell'immagine se l'oggetto trovasi in grande distanza, e con quanta rapidità l'immagine si allontana dalla retina ed aumentano pure i cerchi di diffusione a misura che l'oggetto viene collocato in distanza piccola dall'occhio.

Supponiamo l'*angolo visuale* formato da due linee tirate

Fig. 37.



dalle estremità dell'oggetto ed attraverso il punto O (centro ottico dell'occhio); è facile di vedere che la dimensione vera dell'immagine retinica trovasi pure in rapporto coll'avvicinamento dell'oggetto verso l'occhio. Sia *A O B* l'angolo visuale sotto il quale è veduto l'oggetto *AB*, è facile di vedere che tanto più l'oggetto sarà allontanato dall'occhio, di tanto minore sarà l'angolo visuale che lo comprende, e che l'oggetto *a b* più piccolo di *AB*, ma collocato in maggiore vicinanza dell'occhio, è veduto sotto lo stesso angolo visuale. La grandezza dell'immagine retinica *B'A'* aumenterà adunque in proporzione dell'avvicinamento dell'oggetto verso l'occhio. Quella proporzione è in ragione inversa del quadrato della distanza. Gettando uno sguardo sulla tabella che precede noi vediamo, che la proporzione colla quale aumentano i cerchi di diffusione è assai minore della progressione con cui l'immagine retinea s'ingrandisce, a misura che l'oggetto s'avvicina all'occhio. Quel fatto è di somma importanza pella visione.

Siccome ogni grado di adattamento produce gradi diversi di refrazione nell'occhio, così la sede dei punti cardinali e del centro ottico deve essere variabile. La dimensione dell'immagine retinea deve adunque essere subordinata altresì a questi cambiamenti. In questa proposizione non si tiene conto di quest' ultimo elemento.

Lo sperimento seguente del V. Graefe prova in un modo evidente che allorquando si avvicina o si allontana un oggetto da un occhio, la cui refrazione rimane invariabile, le dimensioni dell'immagine retinica ed i cerchi di diffusione non crescono o decrescono in una proporzione uguale. Un foglio di carta, sul quale sono tracciate con inchiostro due linee larghe, parallele e separate da un intervallo di 3 linee incirca, viene collocato in una distanza di 4 pollici al davanti di un occhio normale. Al davanti di questo viene collocata una lente biconcava N° 4 (4 pollici di foco). La lente biconcava neutralizza grandissima parte della sua refrangibilità, e lo mette in istato di difetto di refrazione; il foco va a formarsi molto indietro della retina e la visione non può effettuarsi che con cerchi di diffusione; però le linee, quantunque vedute più larghe per i cerchi di diffusione, sono vedute separate l'una dall'altra. Allontanando il foglio dall'occhio, l'immagine retinica diminuisce, ma più rapidamente che i cerchi di diffusione; allora i cerchi di diffusione delle linee nere invadono gran parte o totalmente lo spazio bianco che separa queste linee nell'immagine dipinta sulla retina, in guisa che a 12 pollici le linee nere sono vedute più larghe in confronto allo spazio bianco intermedio, ed a 16 pollici non vedesi più che una sola linea larga, perchè i cerchi di diffusione si confondono in modo da far scomparire lo spazio bianco intermedio dell'immagine retinica.



CAPITOLO IV.

Cambiamenti che avvengono nell'apparecchio diottrico oculare per l'adattamento della refrazione alle varie distanze

---

1° Quando un occhio fissa un oggetto, si osserva la pupilla dilatarsi allorchè l'oggetto è allontanato, e restringersi invece a misura che l'oggetto viene avvicinato all'occhio. È facile in questo sperimento di mettersi in condizioni tali di illuminazione da evitare, che il restringimento pupillare possa essere l'effetto di un aumento d'intensità della luce. Questo restringimento della pupilla nell'avvicinamento dell'oggetto, è più manifesto allorchè ambo gli occhi sono diretti sull'oggetto, e ciò prova che la convergenza degli assi ottici (la quale aumenta coll'avvicinamento dell'oggetto) trovasi in correlazione con tale fenomeno. Questo cambiamento di dilatazione nella pupilla osservasi pure, ma in un modo un po' meno pronunciato, allorquando, chiuso un occhio, si fa accomodare l'altro a diverse distanze, ed in guisa che l'asse visuale non abbia a cambiare direzione.

2° Il margine pupillare ed il centro della capsula anteriore si avvicinano alla cornea a misura che l'oggetto fissato si avanza verso l'occhio.

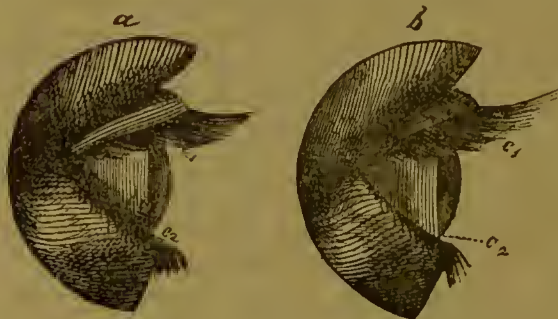
Si può osservare tale fatto (già provato d'altronde nel cap. 2°) nello sperimento seguente dell'Helmholtz:

Si copre colla mano l'occhio che non serve all'esperimento, per evitare lo sforzo che esso farebbe nel tenersi chiuso da sè mentre l'altro funziona; sforzo del

quale questo potrebbe risentirsi. L'altro occhio deve essere diretto in avanti e fissare un ago disposto in modo che la sua testa collocata molto vicino cuopra esattamente un oggetto scelto in lontananza su di una stessa linea di fissazione. L'esaminato deve inoltre evitare attentamente di lasciarsi distrarre da altri oggetti, e fissare sempre nella medesima direzione. Mentre questo fissa l'oggetto scelto in lontananza, l'osservatore si pone all'esterno, di fianco ed un poco al disotto della cornea dell'occhio osservato, ed in guisa ch'egli veda di traverso circa la metà interna del nero della pupilla al davanti del margine scleroticale corrispondente. Allora si dice all'osservato di fissare l'ago, e tosto l'osservatore vedrà che tutto l'ovale nero della pupilla ed anche la parte esterna del margine pupillare prima nascosta, divengono visibili al davanti del margine scleroticale.

Nella fig. 38, *a* rappresenta l'occhio nella visione in lontananza, *b* l'occhio adattato in vicinanza. Il cambiamento nella sede del nero pupillare diviene evidente, allorchè si bada alla larghezza (dall'avanti all'indietro) dello spazio chiaro che esiste fra il nero ed il margine pupillare, ed una striscia oscura che vedesi nella parte anteriore della cornea c^1 c^2. Quella striscia è l'immagine (resa diffusa dalla refrazione corneale) della faccia interna del margine scleroticale del lato opposto all'osservatore, cioè di quella porzione della sclerotica che si avanza un poco al davanti dell'iride, coprendo il margine scleroticale della cornea; la faccia interna di questo margine essendo meno illuminata che l'iride, trovasi nella penombra, e non essendo rischiarata di faccia

Fig. 38.

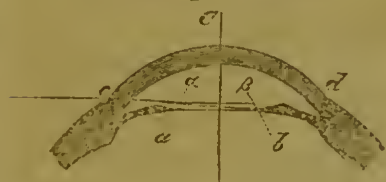


come la superficie anteriore dell' iride, deve dare un riflesso oscuro. Quando l'occhio si accomoda per una piccola distanza, vedesi diminuire la distanza tra la striscia c^2 c^1 ed il nero della pupilla. Se il margine pupillare non si portasse in avanti, quella distanza dovrebbe invece essere veduta maggiore; infatti, quando l'occhio fissa in vicinanza, la pupilla si restringe ugualmente in tutti i punti del suo margine, il quale perciò si allontanerebbe dalla striscia se, oltre al restringersi, la pupilla non si avvicinasse alla cornea. Così pure questa distanza dovrebbe essere maggiore, se il portarsi in avanti della pupilla dipendesse da una inclinazione fortuita dell'occhio osservato verso l'osservatore.

Abbiamo provato che il cristallino è sempre in contatto col margine pupillare dell'iride, il centro della cristalloide anteriore deve adunque avanzarsi ugualmente verso la cornea nell'adattamento pella vicinanza.

Si può misurare l'avanzamento del margine pupillare dell'iride, almeno in un modo approssimativo, conoscendo il raggio di curvatura e la dimensione della cornea, non che la distanza del piano pupillare da questa. Sia C la cornea, *c d* i suoi margini opposti, *a b* la pupilla nell'adattamento pella lontananza. L' osservatore essendo collocato in un lato dell'occhio in modo che tutta la pupilla gli sia invisibile, la sua linea di visione *c* β deve trovarsi nell'umore acqueo. Nell'adattamento pella vicinanza, tutta la pupilla che allora si porta in avanti diviene visibile al davanti del margine scleroticale, e tutta la pupilla, di cui si conosce il diametro *a b*, deve stare allora al davanti della linea *c b* ed anche oltrepassarla (come viene rappresentato nella fig.: α β). Da ciò puossi dedurre approssimativamente il suo movimento. In un caso misurato in questa maniera da Helmholtz, l'iride si portò 0,36 mill. in avanti, in un altro 0,44 mill. Se invece di tutta la pupilla, una parte sola (il 1|3, la 1|2 p. es.) diviene visibile nell'adattamento pella vicinanza, il calcolo deve tenerne conto.

Fig. 39.



Nello stesso tempo che il margine pupillare si porta in avanti, il margine esterno dell'iride si porta indietro di una quantità corrispondente. Ciò spiegasi facilmente, giacchè non avvenendo alcun mutamento nella curvatura della cornea, l'umore acqueo viene cacciato dal centro alla periferia della camera anteriore. Senza questo movimento indietro del

margine esterno dell'iride riescirebbe impossibile di vedere l'avanzamento del margine pupillare, il quale verrebbe nascosto dietro la parte periferica dell'iride stessa; d'altronde puossi pure vedere la periferia dell'iride portarsi indietro.

3° La superficie anteriore del cristallino è più convessa nell'adattamento in vicinanza, che nell'adattamento per oggetti lontani.

Collocando un lume al davanti di un occhio, vedonsi in questo tre immagini riflesse del lume. La prima di queste immagini è dovuta alla riflessione della cornea, e la seconda è formata dalla superficie anteriore del cristallino. Esse sono l'effetto della riflessione dei raggi del lume da superficie convesse; esse perciò sono diritte, virtuali, e vedute dietro queste superficie, presso a poco nel loro mezzo raggio di curva.

La terza è formata dal riflesso dei raggi sulla superficie posteriore del cristallino, la quale essendo concava deve produrre un'immagine capovolta, reale e sita al davanti della superficie medesima (cap. 2°). Quest'immagine trovasi perciò molto vicina alla seconda, la quale è veduta dietro la superficie anteriore del cristallino, e talvolta anche dietro alla terza immagine.

Ogni modificazione nella forma e nella sede delle superficie di riflessione deve arrecare mutamenti nella forma e nella sede rispettiva delle immagini riflesse. Si può adunque, studiando queste modificazioni nelle immagini riflesse della cornea e delle due superficie del cristallino, conoscere e precisare le modificazioni che avvengono in queste superficie di riflessione.

Langenbeck constatò il primo nel 1849 i fenomeni più importanti dell'adattamento, e descrisse i cambiamenti della convessità del cristallino. Un po' più tardi i Professori Donders e Von Reiss avevano cercato di studiare i cambiamenti di posizione delle tre immagini del Purckinje e nel 1853 Cramer (Het accomadatie vermogen des Oogen, physiologisch toegelicht. Harlem,

1853) institui gli sperimenti che stiamo per esporre. I lavori di Helmholtz, che furono fatti prima ancora ch'egli conoscesse gli sperimenti del Cramer, lo condussero a risultati assai più precisi ed utili; risultati che già abbiamo studiati in gran parte nel capo 2°.

Invece di esaminare di faccia, cioè dall'avanti all'indietro, la sede rispettiva delle tre immagini dette di Sanson o di Purkinje (ai quali è dovuta la loro scoperta), il Cramer volle osservarle di fianco. Egli costruì un apparecchio molto ingegnoso col quale è facile di constatare i cangiamenti già mentovati che avvengono nella convessità del cristallino. L'occhio che si vuole osservare deve avere la pupilla non troppo stretta, affinchè si possa constatare la formazione delle tre immagini; esso deve inoltre essere dotato di un potere di adattamento normale.

L'apparecchio (*fig.* 40) è composto di un semicerchio di rame *h*, sul quale è disposto un tubo conico *c d* annerito internamente, allargato alla sua estremità *d*, e tagliato in isbieco nell'altra estremità che va collocata di fianco contro l'occhio osservato. Quest' ultima estremità ha un' apertura

Fig. 40.



e, attraverso la quale l'occhio osservato può fissare gli oggetti che devono servire di punto di mira. L'occhio osservato deve fissare nella direzione dell'asse *g*, sostenuto da una branca scorrevole sul semicerchio. La punta di questo asse verticale può servire di punto di mira pella visione in vicinanza. *a b* è un tubo semplice od armato d'un microscopio di debole ingrandimento (10 o 20 diametri). Questi tubi possono muoversi in tutti i sensi per facilitarne l'applicazione; sì l'uno che l'altro devono convergere verso l'occhio osservato e vengono disposti nel modo che vedesi nella figura.

Un lume *d* viene collocato avanti l'apertura allargata del tubo *c d*, e l'occhio osservato è diretto in modo che i raggi emessi dal lume giungano obliquamente su di esso. Il microscopio, dietro il quale è collocato l'osservatore (cioè in *a*), è diretto in modo che egli possa vedere le tre immagini sotto un angolo uguale a quello sotto cui i raggi luminosi cadono sull'occhio osservato. L'asse *g* deve perciò trovarsi ad eguale distanza da *f* e da *e*.

Quando l'occhio osservato fissa un oggetto lontano (il quale deve essere sulla direzione di *g* (*fig.* 40), come già abbiamo detto), l'osservatore vede tre immagini; cioè (fig. 41), 1° un'immagine *c* diritta, larga, distinta e chiara... riflessa dalla cornea; 2° un'altra immagine *a* ugualmente diritta, meno viva e meno luminosa, a contorni poco regolari, più vicina al centro della pupilla; è questa l'immagine riflessa dalla superficie anteriore del cristallino; 3° verso il margine pupillare opposto all'immagine corneale apparisce una terza immagine *d* più piccola, più luminosa della seconda, ma capovolta; essa non si vede se non quando la pupilla è un po' larga. È inutile di osservare che le immagini

Fig. 41.



sono vedute capovolte, e tutti gli oggetti sono disposti in senso inverso della loro posizione reale, quando (figura 40) invece di un semplice tubo trovasi in *a b* un microscopio.

Se allora l' occhio osservato si accomoda per una distanza piccola, se egli fissa p. es. l'asse *g*, si vede (fig. 42):

Fig. 42.



1° che l' immagine corneale rimane invariabile; 2° che l'immagine *a* della superficie anteriore del cristallino diviene più piccola e nello stesso tempo più luminosa, meglio delimitata nei suoi contorni e che s'avvicina all'immagine corneale; 3° che l'immagine *d* si modifica leggerissimamente nei suoi diametri e si allontana un poco dall'immagine corneale.

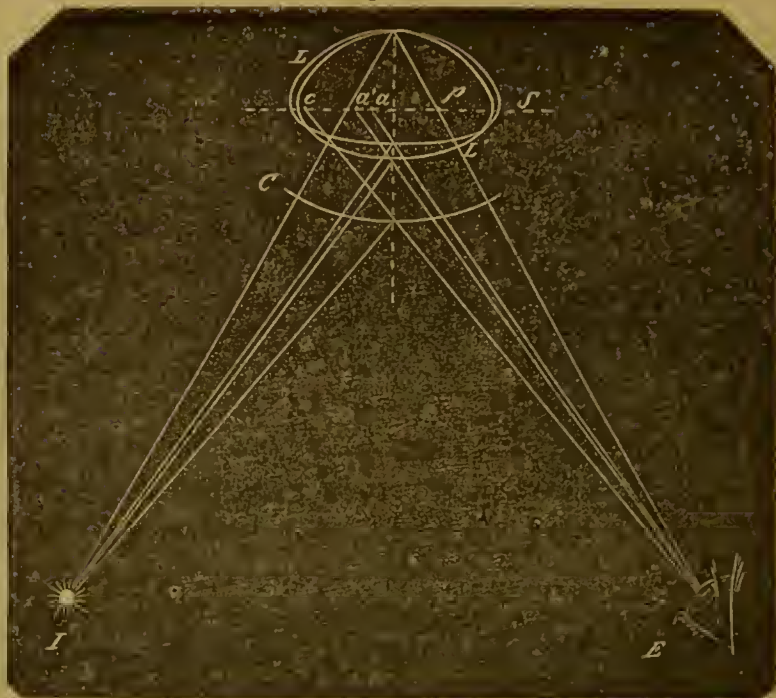
In queste due figure 41 e 42 venne esagerata molto la nettezza delle immagini riflesse per renderne più evidenti i cambiamenti.

L'immagine riflessa dalla superficie della cornea non si modifica; la cornea non subisce adunque alcun mutamento nè di forma nè di sede. L'immagine della superficie anteriore del cristallino diminuisce di diametro; il cristallino diviene adunque più convesso nella sua superficie anteriore, giacchè uno specchio convesso produce immagini riflesse tanto più piccole, quanto minore è il suo raggio di sfera, cioè quanto maggiore è la sua curvatura. La superficie posteriore del cristallino si fa pure un po' più concava.

I cambiamenti nella posizione reciproca delle immagini vanno interpretati nello stesso modo. La figura schematica seguente del Donders ci spiega il fenomeno. L'occhio è rappresentato in una sezione orizzontale.

Siano: *l* il lume, *E* l'occhio dell'osservatore, ed *S* il piano di projezione nel quale trovansi le tre immagini del Sanson. I raggi emanati dalle tre immagini giungono

Fig. 43.



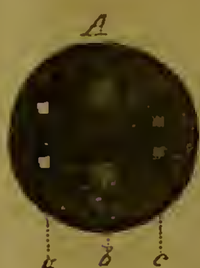
all'osservatore nelle direzioni *Ec*, *Ea* ed *Ep*, e le distanze che separano i punti *c*, *a* e *p* sono in relazione diretta colla posizione relativa di quelle immagini, allorchè l'occhio è accomodato per una grande distanza. Quando l'occhio si accomoda per una distanza minore, la faccia anteriore del cristallino diviene più convessa, e si porta in *L'*; la cornea invece non subisce modificazione, e la superficie posteriore del cristallino si modifica in un modo che possiamo dire insensibile. Le immagini della cornea e della superficie posteriore del cristallino rimarranno adunque sempre nel piano di projezione in *c* e *p*, mentre l'immagine della superficie anteriore del cristallino sarà invece veduta nel piano di projezione in *a'*.

Le variazioni nelle dimensioni delle immagini possono essere osservate meglio in questo sperimento, se invece di un lume semplice ci serviamo di un diaframma opaco con due aperture quadrate praticate perpendicolarmente l'una sovra l'altra, ed attraverso le quali arrivi all'occhio la fiamma di un lume riflessa da uno specchio. Ognuna

delle tre superficie di riflessione dà un'immagine composta di due riflessi quadrati, e la distanza che separa questi riflessi misura la dimensione dell'immagine. Nell'adattamento pella vicinanza vedesi facilmente che i due quadrati riflessi dalla superficie anteriore del cristallino si avvicinano l'uno verso l'altro.

A (fig. 44) è la riflessione quale si vede nell'adattamento per oggetti lontani, *B* la riflessione nella visione d'oggetti vicini; *a* è il riflesso della cornea, *b* il riflesso anteriore del cristallino, *c* la riflessione della superficie posteriore del cristallino. Facilmente si potrà ottenere di variare la dimensione dell'immagine riflessa, variando la distanza di separazione dei fori del sipario. Si è in questo modo che Helmholtz ottenne immagini corneali e cristalline di uguali dimensioni, per misurarle confrontandole fra di loro (vedi capo 2°); egli servivasi di un sipario in cui i pertugi erano movibili e poteano a volontà avvicinarsi od allontanarsi l'un dall'altro.

Fig. 44.





Dobbiamo notare che l'immagine della superficie anteriore del cristallino deve subire una diminuzione leggera nel suo diametro, pel fatto della refrazione che provano i raggi passando dalla cornea nell'aria; ma tale modificazione è sì leggera, che può essere negletta.

I cambiamenti che avvengono nell'occhio, allorquando dalla visione di oggetti collocati in lontananza esso passa alla visione di oggetti vicini, corrispondono alla necessità in cui esso trovasi di conservare il foco dei raggi luminosi in un sito invariabile che è la retina, o per dir meglio di ottenere e mantenere sulla retina un'immagine esatta degli oggetti esterni qualunque sia la distanza di questi oggetti.

Il restringimento pupillare diminuisce la base dei coni luminosi formati dai fasci luminosi che entrano nell'occhio, e per conseguenza esso deve avere per effetto di diminuire l'estensione dei cerchi di diffusione sulla retina, allorquando lo stato di refrazione oculare è tale che il foco si formi avanti o dietro la membrana visiva. Noi avremo campo più tardi di studiare quanta utilità possono arrecare tali movimenti della pupilla nei casi di difetto grave della refrazione oculare.

Il portarsi in avanti od all' indietro della superficie anteriore del cristallino deve recare modificazioni nello stato di refrazione totale dell' occhio. Ma più di tutto l' aumento di convessità della superficie anteriore del cristallino giova a renderci ragione dell'importante meccanesimo per cui l'occhio gode della facoltà di conservare il suo foco posteriore in un sito invariabile. Diminuendo il raggio di sfera della superficie anteriore del cristallino, il potere rifrattivo del cristallino deve aumentare. Se l'occhio fissa oggetti molto lontani, da questi partono raggi paralleli, la refrazione oculare deve essere minore, quindi la convessità della superficie del cristallino si fa minore. A misura che gli oggetti si avvicinano, i raggi di ogni fascio luminoso cadono più divergenti sulla cornea in proporzione dell'avvicinamento dell'oggetto, e l'incrocicchiamento di questi raggi dovrebbe farsi dietro la retina, se il cristallino, col suo aumentare di convessità, non aumentasse pure il suo potere di refrazione.

Siccome è necessario, affinchè abbia luogo visione perfettamente distinta ed esatta degli oggetti, che l'immagine che si forma sulla retina sia quasi geometricamente simile all'oggetto veduto, e siccome in un sistema diottrico non formasi un' immagine geometricamente simile che sul piano nel quale i raggi di ogni fascio emanato dall'oggetto s' incrocicchiano; noi possiamo dire che non ha luogo visione perfettamente distinta se non quando la retina trovasi nel piano focale posteriore formato dal-

l'incrocicchiamento dei raggi emanati dall'oggetto fissato. La parola *adattamento*, nel suo senso più esatto, significa la serie dei cambiamenti pei quali l'occhio cerca di mantenere sulla retina un'immagine degli oggetti esterni, e di ottenerla geometricamente simile a quegli oggetti stessi, per quanto le irregolarità di sfericità delle superficie che limitano la cornea ed il cristallino possono permetterlo. In pratica la parola adattamento è però adoprata soventi per esprimere le modificazioni che subisce la refrazione oculare nella visione in varie distanze.

La figura seguente rappresenta un taglio dell'occhio destinato a dimostrare le deformazioni del cristallino nell' adattamento. In *R* il cristallino trovasi nel suo stato di *minimum* di refrazione; in *P* esso trovasi in istato di *maximum* di refrazione, cioè più convesso ed accomodato pella visione di oggetti vicini. *i* ed *i'* indicano i movimenti dell'iride e della pupilla. La cornea *c* non offre cambiamenti.

Fig. 45.



Ma corrispondono tali mensurazioni a quanto c'insegna la pratica dello stato *minimum* e dello stato *maximum* del potere di refrazione in cui l'occhio può trovarsi?

Prima dei lavori dell'Helmholtz, misure meno esatte delle curvature del cristallino e della cornea, e calcoli più incerti dell'indice di refrazione dei mezzi trasparenti dell' occhio, lasciavano il dubbio che per lo più i raggi paralleli dovessero formare il loro foco ad una distanza considerevole dietro la retina. Le misure di Helmholtz e di Knapp, specialmente dopo la rettificazione dell'indice di refrazione fatta da quegli e dal Listing, provano, in un modo che lascia ben poco a desiderare, che la

distanza focale principale dell'apparecchio diottrico oculare, corrisponde colla sede occupata dalla retina nell'occhio normale.

La lunghezza dell' asse antero-posteriore dell' occhio varia in un modo sensibile a seconda degli individui. Sarà l'asse antero-posteriore maggiore del consueto (l'occhio trovandosi nel suo stato minimo di potere rifrattivo), il foco pei raggi luminosi paralleli si troverà al davanti della retina. Il foco posteriore principale si troverà invece dietro la retina, se la lunghezza dell'asse è minore. Una lunghezza intermedia a quell'eccesso ed a quel difetto della lunghezza dell' asse antero-posteriore, corrisponderà al trovarsi della retina nel foco principale posteriore stesso (foco pei raggi paralleli).

Le medie adunque ottenute dalle mensurazioni anatomiche non possono avere che valore limitato, poichè la retina trovasi ad una distanza molto variabile dalla cornea. Se noi gettiamo uno sguardo nella tabella del cap. 2, p. 60 e 61 noi ci convinceremo che le misure della distanza del foco principale posteriore dietro la cornea negli occhi normali, corrispondono abbastanza bene colle misure dell'asse antero posteriore dell'occhio prese nel cadavere.

In quanto poi al potere di adattamento, queste misure lasciano nulla a desiderare. In tre degli occhi in cui il Knapp aveva studiati nel modo indicato i raggi di curvatura del cristallino nella visione in lontananza e nella visione in vicinanza, egli ottenne col calcolo la prova che la sede del foco posteriore non doveva variare, fosse l'oggetto collocato alla massima o alla minima distanza; i cambiamenti avvenuti nel potere di refrazione oculare per effetto del cambiamento di curvatura del cristallino bastavano a spiegare interamente il fenomeno della visione in varie distanze; l'aumento di refrazione che l'occhio poteva acquistare pei cambiamenti del cristallino corrispondeva alle distanze estreme in cui gli oggetti potevano essere veduti distintamente, o,

per dirla forse più esattamente, colle inclinazioni estreme sotto le quali i raggi luminosi potevano giungere alla cornea senza che la visione distinta degli oggetti da cui emanano cessasse di effettuarsi.

Varie opinioni sull'adattamento.

I lavori del Cramer e dell'Helmholtz non lasciano più alcun dubbio sulla vera natura dell'adattamento, specialmente dopo che il dott. Knapp ebbe provato che i cambiamenti di refrazione che deve produrre nell'apparecchio oculare l'aumento di curvatura del cristallino concordano perfettamente colle modificazioni della refrazione necessarie per la visione a varie distanze, quale la possiede l'occhio umano. Dirò brevemente di alcune delle principali opinioni colle quali si era cercato di spiegare l'adattamento. Alcune di esse, non completamente erronee, possono servirci nell'interpretazione di alcuni casi anormali, o considerati tali.

L'opinione di coloro, i quali negavano ogni adattamento o cambiamento nell'occhio pella visione in varie distanze, trovava un appoggio validissimo nelle ricerche di un celebre e coscienzioso sperimentatore. De-Haldat aveva studiato sperimentalmente in occhi estratti di fresco, a quale distanza viene a formarsi il foco dei raggi luminosi dopo la loro refrazione attraverso i mezzi diottrici. Egli, raccogliendo le immagini dietro i mezzi diottrici, sovra una laminetta di vetro smerigliato, la quale sostituiva alle membrane profonde dell'occhio, aveva osservato che le immagini fornite dal cristallino si formavano sensibilmente nello stesso punto; sia che l'oggetto, dal quale i raggi luminosi giungevano al cristallino, fosse all'infinito, sia che fosse in distanza minima. (parallelismo e divergenza di 2, o 3").

Abbiamo veduto sopra (Cap. 2°), che De-Haldat credeva che la cornea e l'umore acqueo non avessero influenza nella produzione delle immagini, perchè sia che egli lasciasse la cornea, l'umore acqueo ed il vitreo, sia che li esportasse, il foco dei raggi paralleli si formava sensibilmente alla stessa distanza dietro il cristallino.

Il signor Giraud-Teulon ripetè tali sperimenti; ma per osservare meglio la sede occupata dall'immagine retinea, egli si servì di un microscopio e potè così provare che i risultati ottenuti dal De-Haldat erano erronei. I mezzi imperfetti d' investigazione di quest' ultimo non gli avevano permesso di constatare, come potè farlo Giraud-Teulon, che pel cristallino solo (del maiale e dell'uomo), la differenza di foco osservabile è già di $^1/_2$ mm. (nelle differenze indicate delle inclinazioni dei raggi luminosi), e che conservando l'umore vitreo (tolti però la cornea e l'acqueo), questa differenza è da $^1/_2$ a 3mm. nel maiale e da 1 a 6 mm. nell'uomo.

Sturm studiando i varii meridiani della prima superficie di refrazione, ed avendo scoperto in essi diversità di curvatura, ne arguiva che i varii meridiani possedendo un potere di refrazione diversa, la retina doveva trovarsi sempre in un foco, qualunque fosse la direzione dei raggi che giungono all'occhio.

Ma è provato ora che Sturm esagerò la diversità di curvatura dei varii meridiani della cornea, ed inoltre che tali aberrazioni lungi dall' aiutare l' adattamento, rendono assai più confusa la visione, come lo vedremo studiando l'astigmatismo.

Non dirò nulla dell'opinione che ammetteva cambiamenti di forma nella cornea. Le ricerche d'Helmholtz provano evidentemente che essi non hanno luogo.

L'avanzarsi della lente verso la cornea può produrre bensì cambiamenti nella refrazione oculare, e noi vedremo più tardi che è questo un mezzo col quale la natura corregge in parte la miopia e la presbiopia, ma nell'adattamento non avviene nell'occhio un semplice avanzamento della lente verso la cornea.

Le sole alternative di dilatazione e di restringimento della pupilla possono rendere la visione meno confusa in caso di difetto di refrazione, diminuendo per esse od aumentandosi la larghezza dei cerchi di diffusione; ma questi movimenti della pupilla non possono spiegare l'adattamento, il quale può persistere malgrado l'immobilità della pupilla, siccome lo vedremo più avanti. Tale teoria, che porta il nome di Pouillet, il quale ne fu il più brillante campione, era fondata sul fatto, che i raggi che attraversano la periferia di una lente subiscono un grado di refrazione minore che non i raggi che passano pel suo centro. Perciò se vengono fissati oggetti remoti, la pupilla si allarga e così i raggi paralleli che passano pella periferia scoperta della lente s'incrocicchiano sulla retina. A misura invece che l'oggetto fissato si avvicina, la pupilla si restringe per non lasciare passare che pel centro del cristallino i raggi ora più divergenti e che perciò dovrebbero incrocicchiarsi dietro la retina se non passassero per la regione più rifrangente del cristallino; in questa guisa la retina dovrebbe trovarsi sempre in un foco. Già conosciamo lo sperimento semplicissimo col quale viene provato, che non ha luogo percezione distinta di oggetti vicini allorchè l'occhio è accomodato pella lontananza, cioè allorquando la pupilla dilatata dovrebbe lasciare vedere nello stesso tempo gli oggetti vicini, i cui raggi passando nel centro dovrebbero avere il loro foco sulla retina, e gli oggetti lontani, i cui raggi attraversando la periferia della lente dovrebbero ugualmente avere il loro foco sulla retina.

Lo sperimento tanto semplice del Porterfield (dei due aghi collocati ad una certa distanza l'un dall'altro sulla stessa linea di fissazione i quali non si possono vedere distintamente nello stesso tempo), è di tale evidenza che non pochi ammettevano già l'adattamento per cambiamenti di refrazione, quantunque non provato ancora.

Alcuni vollero che l'asse oculare avesse la proprietà di modificarsi nella sua lunghezza, portandosi così la retina più indietro o più in avanti a seconda dell'avanzare o retrocedere del foco, a norma cioè della diversa direzione dei raggi che giungono all'occhio. Il prof. Arlt di Vienna abbracciò questa opinione, ritenendo i muscoli esterni dell'occhio, quali gli organi destinati a produrre tale variazione nell'asse.

Young, il quale aveva gli occhi molto prominenti, poteva, portando l'occhio in fuori il più che gli riusciva possibile, giungere col dito a fare pressione sulla sclerotica nella regione della macula lutea; diffatti allora vedeva riuniti il fosfeno od immagine subbiettiva prodotta dalla pressione sulla retina, e l'oggetto che egli fissava; ebbene ciò non gli impediva di vedere a varie distanze, sebbene la pressione del dito non permettesse questo preteso allungamento dell'asse antero posteriore.

Ma un fatto osservato dal V. Graefe (archiv. f. opht.) di adattamento conservato perfetto in ambo gli occhi, malgrado paralisi completa dei muscoli perioculari in ambo i lati, basta da se solo a provare l'erroneità di tale opinione.

Non possiamo neppure ripetere l'adattamento da aumento o diminuzione di pressione endoculare per cambiamenti nella quantità del sangue o degli umori endoculari, il che potrebbe produrre, come s'intende, varie modificazioni nella lunghezza dell'asse oculare, nella sede o nella forma delle parti interne. Diffatti gli esperimenti di Helmholtz sulla curvatura della cornea non lasciano dubbio, che ogni aumento di pressione endoculare deve tradursi immediatamente in cambiamenti di curvatura nella cornea; ora questi cambiamenti non si osservano nell' adattamento. La patologia oculare inoltre è conscia che non può avvenire tale aumento di pressione endoculare senza che la sensibilità retinea ne venga alterata e per lo più senza che avvenga battito dei vasi della papilla, o dissesti nella circolazione profonda; e parimenti niente di tutto ciò si osserva nel momento dell'adattamento.

CAPITOLO V.

Optometria subbiettiva.

È un fatto ormai provato, che l'occhio può aumentare o diminuire la sua potenza di rifrazione. Tale facoltà, detta *adattamento* od *accomodamento* della refrazione mette l'occhio in grado di ottenere e di mantenere sulla retina l'immagine esatta di un oggetto esterno fissato, qualunque ne sia la distanza.

In altre parole: l'occhio può cambiare la sua refrazione ed adattarla all'inclinazione dei raggi luminosi che stanno per attraversarlo, in modo che il loro foco si formi sulla retina. Infatti, nello studio della refrazione, la parola *distanza* ha una significazione propria; essa indica il sito, *al davanti* dell'apparecchio diottrico, in cui trovasi *l'apice* di un cono o fascio di raggi luminosi dirigentisi verso l' apparecchio medesimo (Vedi cap. 1°).

Ogni punto veduto di un oggetto esterno emette un fascio o cono luminoso, ed ognuno di quei coni luminosi ha il suo apice al punto che lo ha emesso. I raggi componenti questi fasci giungono all'apparecchio diottrico con una incidenza diversa, a seconda della distanza che separa l'occhio dall'oggetto. Quando dicesi adunque che questa distanza è di 8.... 20.... 100 centimetri, p. es., vuolsi intendere che i raggi luminosi arrivano all'occhio con un grado di divergenza reciproca tale, che l' apice dei coni ai quali appartengono quei raggi trovasi (realmente o virtualmente) ad una distanza di 8.... 20.... 100 centim. al davanti dell'occhio.

Al di là di 100 volte la distanza focale anteriore principale di un apparecchio diottrico, questa distanza è detta infinita: = ∞. I raggi si comportano, per la loro refrazione, come se la loro inclinazione reciproca fosse realmente = 0, cioè come se fossero perfettamente paralleli. Supponendo adunque la distanza focale principale dell'apparecchio diottrico oculare =15 m. m., si può dire fisicamente infinita ogni distanza al davanti dell'occhio, maggiore di 1 metro e 50 centimetri. Da questa distanza all'infinito, l'occhio non ha da cambiare la sua rifrazione per mantenere sensibilmente l' immagine esatta degli oggetti esterni nel medesimo sito dietro il cristallino, cioè sulla retina.

I fasci luminosi possono pure essere formati da raggi convergenti fra loro. Allora la parola *distanza* va intesa in un senso *negativo*, poichè l'apice di quei coni non si trova già al davanti, ma dietro il primo punto capitale dell'apparecchio diottrico; il valore negativo della distanza viene indicato col segno —. Quando adunque si parla di una distanza o direzione dei raggi luminosi =: — 8,... — 50,... — 100 centimetri, si vuole indicare che i raggi del fascio luminoso giungono all'apparecchio diottrico con una convergenza tale, che essi tendono ad incrociarsi ad una distanza di 8,.... 50,... 100 centimetri dietro il primo punto capitale.

Ognuno intende facilmente che per le distanze positive il potere di rifrazione oculare necessario, affinchè il foco dei raggi luminosi si formi sulla retina, deve svilupparsi in senso inverso delle distanze. Se l'oggetto, p. es., trovasi poco discosto dall'occhio, il grado di refrazione oculare dovrà essere più elevato, che non per una distanza maggiore. A misura che l'oggetto si porta verso l'infinito, la rifrazione oculare deve pure diminuire; questo potere di rifrazione dovrà scemare ancora, se la distanza si fa negativa; ancora più deve diminuire colla

diminuzione della distanza negativa, cioè coll'aumento di convergenza dei raggi.

Si può adunque, per lo studio delle variazioni della rifrazione oculare, considerare le distanze negative, siccome una continuazione della distanza infinita. Quanto più i raggi si dirigono con maggiore convergenza verso l'occhio, tanto più la distanza va considerata maggiore *al di là* dell'infinito.

La facoltà di adattamento o di variazione nel grado di rifrazione oculare non è illimitata; essa offre due *limiti*, rappresentati l'uno dal *maximum* di potere di rifrazione che l'occhio può ottenere, l'altro dal *minimum* di rifrazione al quale esso può giungere. Questi limiti dell' adattamento vengono naturalmente fissati dagli estremi opposti d'inclinazione dei raggi (o distanze estreme ed opposte), per i quali l'occhio può adattarsi, conservando cioè sulla retina il foco dei raggi medesimi.

La distanza minima al davanti dell'occhio, alla quale può effettuarsi la visione distinta, corrisponde al *maximum* di rifrazione oculare; perciò le espressioni: *limite prossimo* della visione distinta e *maximum di rifrazione oculare* vanno intese nel medesimo senso. Si capisce che il limite prossimo può trovarsi tra l'occhio e l'infinito, oppure all'infinito od anche al di là dell'infinito; cioè il *maximum* di potenza di refrazione oculare può corrispondere alla visione perfettamente distinta con raggi divergenti, oppure solamente con raggi paralleli od anche coi raggi convergenti.

Lo stesso dicasi del *limite remoto* della visione perfettamente distinta, il quale corrisponde al *minimum* di potenza di refrazione, ed il quale si può pur trovare al di là dell'infinito, all'infinito od anche al di qua.

L'*estensione* dell' adattamento viene compresa tra il

maximum ed il *minimum* di potere di rifrazione oculare. Essa viene adunque misurata pure fra i due limiti (prossimo e remoto) della visione distinta, ossia dagli estremi d'inclinazione dei raggi luminosi, per le quali l'occhio può adattarsi.

Punto di adattamento dicesi la distanza (od inclinazione dei raggi) per la quale l'occhio è accomodato. Con questa parola intendesi quello stato di rifrazione oculare in tale rapporto colla direzione dei raggi luminosi diretti all'occhio, che il foco di questi si formi nella retina. Quando adunque un punto luminoso od un oggetto è collocato al di là del punto di adattamento, i raggi che ne provengono formano il loro foco al davanti della retina; se invece l'oggetto trovasi al di qua del punto di adattamento, il foco dei raggi di questo oggetto deve formarsi dietro la retina. Nell'uno e l'altro caso la retina viene colpita da cerchi di diffusione (vedi Cap. 3°); nel primo caso infatti la rifrazione si trova in eccesso; nel secondo essa si trova in difetto, rispetto all'inclinazione dei raggi luminosi.

Supponiamo l'occhio accomodato per una distanza di 20 centimetri; i raggi, per formare il loro foco sulla retina, devono giungere all'occhio con una divergenza tale che l'apice del cono o fascio al quale essi appartengono, si trovi alla distanza di 20 centimetri al davanti dell'occhio. Se un punto luminoso trovasi al di là di 20 cent., la divergenza reciproca dei raggi è minore, ed il loro foco deve formarsi al davanti della retina; la divergenza dei raggi sarà invece eccessiva per il grado di rifrazione oculare, se il punto luminoso è sito al di qua di 20 centimetri, ed il foco si formerà dietro la retina.

Tutti i punti di adattamento sono compresi fra i due limiti dell'adattamento; il loro numero è indefinito. Fuori dei limiti dell'adattamento non possono esistere punti di adattamento. Il punto di adattamento più

prossimo trovasi al limite prossimo; il limite remoto della visione distinta viene segnato dal punto di adattamento più remoto.

L'optometria consiste adunque nel determinare l'inclinazione colla quale i raggi luminosi giungono all'occhio, e nel cercare se l'occhio può adattare la sua rifrazione a questa inclinazione dei raggi in modo da condurne il foco sulla retina. L'inclinazione dei raggi può essere calcolata, o direttamente, cioè misurando la distanza in cui trovasi l'oggetto dal quale essi provengono, oppure con altri processi che noi dovremo studiare nei capitoli che seguono.

La visione cessa di essere perfettamente distinta tosto che la retina viene impressionata da cerchi di diffusione, perchè allora la retina non trovasi colpita da un'immagine esattamente simile all'oggetto veduto, dal quale partono i raggi luminosi (vedi Cap. 3°). Se i raggi emessi da un oggetto fissato dall'occhio formano il loro foco avanti o dietro la retina, questa membrana non riceve che i cerchi di diffusione di quei raggi. Siccome però non è sempre impossibile di distinguere abbastanza bene degli oggetti di dimensioni relativamente grandi, e siti a distanze per le quali l'occhio non è perfettamente adattato (vedi Cap. 3°), così conviene dirigere le nostre sperimentazioni in guisa che la percezione di un oggetto fissato cessi, od almeno venga modificata in modo sensibile e facilmente avvertibile, tosto che la distanza dell'oggetto non si trovi in relazione col punto di adattamento.

I principii sui quali deve poggiare l'optometria subbiettiva vennero già in gran parte esposti nel Cap. 3°. I metodi coi quali essa può essere praticata sono numerosissimi; dovrò limitarmi alla descrizione dei processi più generalmente adottati e più utili in pratica.

Divisione artificiale dei cerchi di diffusione.
(*Porterfield*, *Scheiner*, *Young*.)

Parlando al Cap. 3° del modo col quale la retina viene impressionata dai cerchi di diffusione, ho già esposto il processo ingegnoso ideato da Scheiner per ottenere che un medesimo fascio di raggi luminosi produca due o più impressioni distinte sulla retina, tosto che questa membrana non si trovi nel sito in cui formasi il foco di questi raggi.

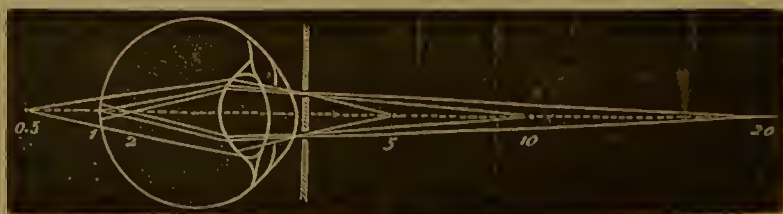
L'occhio che si vuole esaminare deve fissare un oggetto piccolissimo, p. e. un filo teso perpendicolarmente attraverso due forellini praticati nella medesima linea orizzontale in un sipario opaco mantenuto immediatamente al davanti dell'apertura palpebrale. La distanza che separa i due pertuggi deve essere minore del diametro della pupilla.

Ogni fascio dei raggi provenienti dal filo viene rappresentato, dietro il sipario, da due sezioni rotonde aventi la dimensione dei forellini. Queste due sezioni si mantengono separate nell'occhio fino al punto focale dove si fondono, per separarsi di nuovo dietro il foco, (vedi fig. 34 e 46).

Se la retina trovasi avanti o dietro il foco dei raggi emessi dal filo, si dovrà avere una doppia percezione di ognuno dei punti del filo e vederlo doppio.

La figura seguente (figura 46) rappresenta l'occhio adattato per la di-

Fig. 46



stanza di 10; il punto 10 ha il suo suo foco coniugato in 1, cioè nella retina, la quale non riceve che una sola impressione. Il punto 20 invece forma il suo foco in 2, al davanti della retina; la membrana senziente deve ricevere due impressioni, siccome vedesi nella figura. Il punto collocato in 5 dovrebbe formare il suo foco coniugato in 0,5, cioè dietro la retina, e deve perciò produrre due impressioni distinte perchè la membrana senziente si trova in un punto d'intersezione del cono luminoso.

Il filo sarà dapprima avvicinato all' occhio, ed il punto in cui esso apparirà doppio segnerà il punto prossimo della visione distinta. La massima distanza in cui il filo potrà essere veduto semplice indicherà il limite remoto. Quando il filo sarà veduto doppio, si potrà pure constatare se esso trovasi al di qua od al di là del punto di adattamento; chiudendo uno dei forellini si vedrà scomparire il filo corrispondente al foro coperto, se il filo è al di là del punto di adattamento, ed invece diverrà invisibile il filo opposto al pertuggio otturato se il filo è al di qua del punto di adattamento (vedi Cap. 3°).

Si può sostituire al filo una linea nera tracciata dall'avanti all'indietro su di un foglio di carta bianca disposto orizzontalmente ed immediatamente al disotto dell'occhio.

Fissando successivamente dall'avanti all'indietro questa linea, essa si allargherà e sarà veduta doppia nei punti siti fuori dei limiti dell'adattamento. Si potrebbe pure praticare tre o quattro forellini (th. Young), nel sipario, ed allora i cerchi di diffusione produrrebbero tre o quattro impressioni distinte sulla retina, ecc.....

Questo mezzo di misurare l'adattamento è certamente semplicissimo; esso offre però molte difficoltà nelle sue applicazioni pratiche. Un piccolo oggetto qual è un filo viene difficilmente veduto distintamente a grandi distanze, e non riuscirebbe possibile di adoperare questo

processo se non negli individui la cui facoltà visiva non è alterata, e solamente per misurare le piccole distanze. Questo metodo offre inoltre l'inconveniente gravissimo di richiedere una certa intelligenza che non si può trovare sempre nei nostri ammalati.

Infatti l'oggetto dev'essere fissato nello stesso tempo attraverso le due aperture, al che non si giunge che dopo un certo esercizio. Inoltre il campo visivo viene coperto in gran parte dai cerchi di dispersione *a* e *b* dei due forellini, i quali si coprono in parte, come vedesi nella fig. 47; non si può vedere la doppia immagine *g* del filo, che nella parte mediana comune *c*, la quale è la più illuminata. Nelle parti laterali le quali appartengono ad una sola delle immagini di dispersione dei pertugi e le quali sono meno illuminate, non vedesi che una sola immagine del filo, come in *h*.

Fig. 47.



Poliopia monoculare.

(De La Hire, Donders, V. Graefe, Giraud-Teulon).

Quando si fissa la fiamma di un lume collocato al di là od al di qua della *linea* di adattamento, la si vede più oscura, più larga ed irregolarmente illuminata. Esaminandola più attentamente, noi la vediamo divisa in due, tre ed anche in un numero maggiore di fiamme separate fra loro da spazii meno illuminati.

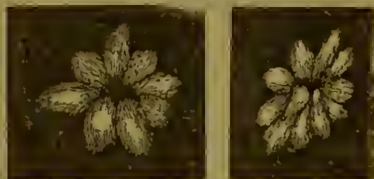
Osservasi un fenomeno analogo fissando un punto luminoso rappresentato da un forellino praticato in una lamina di metallo, ed attraverso il quale penetra la luce del cielo o di un largo lume collocato dietro il forellino. Per imitare meglio un punto luminoso, si può applicare contro il pertuggio una lamina di vetro smeri-

gliato; la luce attraversandola, viene dispersa in ogni direzione.

Se l'occhio è adattato perfettamente, i margini del forellino sono veduti distinti, sebbene esso non appaia quasi mai affatto rotondo. Coprendo una parte della pupilla con un piccolo sipario opaco, noi vediamo o scomparire irregolarmente una parte del forellino, o semplicemente diminuirsi il suo diametro.

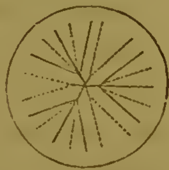
Allorchè il punto luminoso trovasi al di là del punto di adattamento, esso diviene più oscuro, si allarga presentando dei prolungamenti raggiati più o meno larghi e più o meno regolarmente disposti in forma stellata intorno al forellino (figura 48 e 49). Il centro di questa figura ha un colore rossigno, la periferia invece è azzurrognola (ved. in seguito). I prolungamenti sono veduti ordinariamente più estesi nel senso verticale o diagonale. Se la luce è debole, appaiono le sole parti più chiare dell'immagine stellata, e vedonsi quattro, cinque o più forellini, di cui uno solamente è più chiaro degli altri.

Fig. 48 e 49.



Non di rado questo punto prende la forma di un cerchio luminoso, otto o dieci volte più esteso, e che offre nel suo interno delle scissure regolari, le quali rappresentano abbastanza bene le scissure del cristallino, come lo ha dimostrato il Giraud-Teulon (fig. 50).

Fig. 50.



Se invece del punto luminoso si fissa un punto nero dipinto su di un foglio di carta bianca, si vede al di qua ed al di là del punto di adattamento un cerchio di diffusione pallido, nel quale si distingue, però con qualche difficoltà, un numero considerevole di piccoli punti neri un po' più piccoli del punto tracciato sulla carta, e disposti con regolarità nella penombra del cerchio di diffusione (fig. 51).

Fig. 51.



Che si veda una figura stellata o più immagini del punto luminoso, se si copre la parte inferiore della pupilla, scomparirà la parte inferiore di questa figura (la quale corrisponde alla parte superiore dell'immagine retinea..... allorquando l'occhio sarà accomodato per una distanza minore di quella del punto luminoso (vedi Cap. 3°), coprendo col sipario la parte superiore esterna od interna della pupilla, si vedrà sempre scomparire le parti corrispondenti della figura.

Se l'occhio è accomodato per una distanza maggiore di quella del punto luminoso (il che si può ottenere mettendo al davanti dell'occhio una lente biconcava di un foco breve), si vede pure una figura stellata, ma i prolungamenti trasversali sono solitamente i più estesi. Coprendo un lato della pupilla, scompare la parte opposta della figura perchè allora viene coperta ed oscurata la parte corrispondente dell'immagine retinea, (ved. Cap. 3°).

Questo fenomeno della poliopia monoculare fuori dei limiti dell'adattamento viene pure constatato quando si fissa una linea luminosa. Osserviamo un'apertura lineare e strettissima praticata in un sipario oscuro e disposta verso la luce nel modo già indicato: i margini della linea sono veduti distintamente, se l'occhio è adattato convenientemente; ma se la potenza di rifrazione oculare non corrisponde alla distanza, questa linea appare tosto illuminata irregolarmente, ed è veduta doppia, talvolta anzi vedonsi persino cinque o sei linee.

Per constatare il rapporto che esiste tra queste doppie immagini e l'apparenza stellata dei punti luminosi, venga praticato un forellino ad una piccola distanza al disopra dell'apertura lineare. Noi vedremo che le distanze che separano le doppie immagini della linea luminosa corrispondono sempre al sito ed alla disposizione delle

parti più illuminate dei prolungamenti che attorniano il punto luminoso.

Noi possiamo osservare il medesimo fenomeno, fissando un filo di metallo molto sottile, od un capello; esso sarà pure veduto mal limitato, doppio, triplo, ecc., fuori dei limiti dell'adattamento. L'optometro di V. Gräfe, fondato su questo principio, è composto di una asta di acciaio, lunga 80 centimetri, graduata e terminata in una delle sue estremità con una piccola lamina che va collocata sulla fronte dell'esaminando. Sovra quell'asta scivola un piccolo quadro rettangolare nel quale sono disposte delle fila di ferro finissime, o dei capelli disposti verticalmente ed alla distanza di un millimetro l'un dall'altro. Dopo di avere collocato l'asta perpendicolarmente alla fronte, si avvicina il quadro sino alla distanza minima dall'occhio in cui le fila possono essere vedute semplici, distinte e senza fatica; questo è il limite prossimo. Allontanando il quadro e sperimentando nella medesima guisa si trova la distanza massima.

Quando si vogliono ottenere risultati molto precisi, riesce molto utile il fissare un punto luminoso in una goccetta di mercurio disposta sovra un pezzo di velluto nero. La luce del cielo, od una luce diffusa qualunque viene riflessa da questa goccetta come da uno specchio convesso di un raggio di curvatura piccolissimo. I raggi sono riflessi in un solo cono avente il suo apice nell'interno della goccetta (Vedi Capitolo 2°), e la distanza va calcolata dalla goccetta medesima.

Il fenomeno della poliopia monoculare fu descritto e studiato sin dai tempi di De la Hire, ed esso venne spiegato in varie guise. Se noi col mezzo di due pertuggi fatti in un diaframma facciamo cadere su di una lente sferica due piccoli fasci luminosi cilindrici, di cui uno passa nel centro e l'altro nella periferia della lente, noi vediamo che essi non s'incon-

trano mai nell'asse della lente. Tale fatto viene spiegato dalla disuguaglianza focale dei raggi marginali e dei raggi centrali della lente, ed è detto *aberrazione sferica* (Vedi Cap. 1°). Una lente è detta *aplanetica* se va esente da tale aberrazione. L'occhio non solo non è aplanetico, ma questa aberrazione (monocromatica) non è neppure simmetrica come nelle lenti; per lo più i raggi di un medesimo fascio sono irregolarmente disposti intorno all'asse, siccome noi lo vedremo studiando dell'Astigmatismo; ma nelle circostanze ordinarie e se l'occhio è adattato perfettamente, quest'*aberrazione* non produce fenomeni avvertibili nella visione degli oggetti.

Alcuni attribuirono perciò la poliopia alle differenze di foco dei varii meridiani delle superficie di refrazione. Questa opinione veniva appoggiata alla poliopia che osservasi in alcuni miopi, quando le loro lenti sono disposte obliquamente al davanti dell'occhio. Ma questa poliopia non presenta mai la forma regolare che abbiamo osservata negli sperimenti che precedono; inoltre noi vedremo più avanti che la poliopia non scompare correggendo con lenti adatte le irregolarità di foco dovute alle disuguaglianze delle curvature delle superficie di rifrazione. Invece i cambiamenti di forma e di dimensione che subiscono i prolungamenti luminosi nei diversi gradi di adattamento sono in rapporto coll'aberrazione di sfericità che studieremo pure in seguito.

Se il forellino che rappresenta il punto luminoso è molto rischiarato, e specialmente se i suoi margini non sono regolari, vedonsi delle striscie luminose finissime dovute alla *diffrazione* dei raggi che rasentano gli orli del pertuggio. Queste striscie, le quali appaiono quand'anche l'occhio sia perfettamente accomodato, si distinguono facilmente dalle immagini della poliopia. Imprimendo al forellino un movimento di rotazione sul suo asse, queste striscie seguono il movimento dell' orlo. Fissando un lume attraverso un forellino applicato immediatamente al davanti dell'occhio, vedonsi pure queste striscie dovute alla diffrazione della luce; ma esse si muovono pure tutte seguendo i movimenti di rotazione dell'orlo del pertuggio; alcune di queste striscie dovrebbero invece rimanere immobili, se fossero dovute alla diffrazione della luce in qualche punto dell'occhio.

I fenomeni della diffrazione vengono facilmente differenziati dalle apparenze dovute ai cerchi di diffusione; coprendo un lato della pupilla, queste scompaiono solo in un lato od in un altro a seconda dello stato di adattamento, ma sempre uno dei lati rimane intatto. Le immagini dovute alla diffrazione si modificano nei loro due lati opposti, perchè queste striscie colpiscono la retina con tutte le loro parti.

Mi sono convinto più volte che la diffrazione della luce dagli orli della pupilla non influisce sulla produzione di questi fenomeni della poliopia.

Se io fisso un punto luminoso in modo da vederlo moltiplicato, le immagini doppie non vengono modificate menomamente nei movimenti che io provoco nella mia pupilla coll'illuminarla con un lume portato a fianco dell'occhio. Le alternative di dilatazione e di restringimento della pupilla dovrebbero produrre dei cambiamenti nella posizione dei prolungamenti e delle doppie immagini, se la poliopia fosse dovuta alla diffrazione dei raggi che ne rasentano gli orli.

Quando, lasciando in sito il lume, io aumento o diminuisco il mio adattamento vedo cambiare la forma e la disposizione dei prolungamenti o delle doppie immagini, senza che mai però l'illuminazione maggiore o minore dell'iride colla quale io ottengo la dilatazione od il restringimento della mia pupilla, influisca sulla disposizione delle doppie immagini.

Se si bada alla struttura del cristallino ed alla disposizione de' suoi elementi costitutivi non si può fare a meno che di trovare assai verosimile l'opinione di coloro i quali ricorrono all'esistenza nell'occhio di un organo fungente l'ufficio dell'optometro di Scheiner. Le apparenze dipinte nelle fig. 50 e 51 tratte dal Giraud-Teulon, si riferiscono assai bene alle segmentazioni, alle scissure del cristallino ed alla disposizione istologica delle sue fibre; queste segmentazioni devono arrecare differenze nel grado di trasparenza delle varie parti della lente. Se il punto luminoso è molto rischiarato, cioè se esso proietta molta luce, la retina percepisce un'immagine sola, più larga perchè formata da cerchi di diffusione, e più illuminata in alcune parti. Se l'illuminazione è minore, l'immagine si divide, e producesi vera poliopia, perchè la quantità di luce che può penetrare attraverso le parti meno trasparenti della lente cristallina non è tale da produrre sulla retina una impressione sufficiente, perchè se ne possa avere la percezione distinta ed uniforme.

Le modificazioni che avvengono, a seconda del grado di adattamento, nella disposizione, nella forma e nell'estensione di questi prolungamenti o di queste doppie immagini, vanno attribuite alle aberrazioni di refrazione, cioè alle disuguaglianze focali dell'apparecchio diottrico. Avremo campo di esaminare di nuovo quest'ultimo fenomeno e di farne utili applicazioni, studiando gli effetti delle irregolarità focali sulla visione.

Aberrazione cromatica.

(Helmholtz, Pope).

Quando una piccola superficie piana e di colore bianco (p. es. un piccolissimo foglio di carta) trovasi collocata al di là del punto di adattamento, la sua immagine nell'occhio trovasi al davanti della retina, ed i margini di questa superficie sono veduti allargati da un piccolo orlo di colore azzurro. Se invece tale superficie bianca trovasi al di qua del punto di adattamento, il suo margine è veduto tinto in rosso.

Se l'occhio è perfettamente adattato per la visione distinta della superficie indicata, non vedesi nessun coloramento dei suoi margini, purchè la pupilla sia lasciata libera ed allo scoperto; ma se viene portata al davanti dell'occhio una lamina opaca, in modo da coprire la metà della pupilla, vedesi di nuovo colorarsi la periferia di detta superficie.

Se il piano fissato dall' occhio è diviso in due parti dipinte l' una in nero e l' altra in bianco, la linea di separazione fra i due colori è pure veduta colorata, quando la pupilla viene coperta per metà. Si cuopra il lato della pupilla corrispondente alla superficie nera, i due colori saranno veduti separati da una striscia gialla:

questa striscia è invece di colore azzurro, se viene coperta la porzione della pupilla corrispondente al bianco.

Tali fenomeni vengono spiegati pel fatto provato dal *Fraunhoffer*, che l'apparecchio diottrico oculare non è acromatico, cioè che esso ha fochi diversi per i varii colori.

Egli collocavasi in faccia ad uno spettro prismatico, con un telescopio acromatico, nell' oculare del quale erano disposte delle fila incrociate. Se egli avea nel suo campo visuale i raggi paonazzi, dovea portare la lente oculare più vicina alle fila, per vederle, che non quando egli avea nel suo campo i raggi rossi. Secondo i suoi calcoli, un occhio accomodato per un oggetto collocato ad una distanza infinita e la cui luce corrisponde alla linea *c* dello specchio solare (limite tra il rosso e l'arancio), dovrebbe, per vedere distintamente con una luce della linea *g* (limite fra l'indaco azzurro ed il violazzo), e conservando lo stesso adattamento, avvicinarsi all'oggetto fino alla distanza di 18 a 24 pollici.

Helmholtz, facendo cadere successivamente i varii raggi colorati isolati con un prisma, su di un forellino fatto in un sipario opaco, e cercando la maggiore distanza in cui egli poteva vedere l'apertura colla sua forma rotonda, trovò che la maggiore distanza in cui gli riesciva di vedere il punto in modo perfettamente distinto, era di 8 piedi per la luce rossa, di un piede e 1/2 per la luce violazza, e solo di pochi pollici per la luce *estra* violazza. Osservasi facilmente, allorchè si fissa lo spettro dipinto su di una superficie bianca, che il paonazzo non è veduto distintamente allorchè si fissa il rosso.

Il Fraunhoffer ha calcolato che i rapporti di refrazione nell'acqua erano di 1,331705 pella linea *c* dello spettro e di 1,341285 pella linea *g*. Helmholtz, calcolando sulle basi dell'occhio ridotto di Listing (superficie convessa con un raggio di 5,1248 mm.), trovò che il foco dell'occhio dovrebbe essere di 20,574 mm. pel

rosso e di 20,140 mm. pel paonazzo; cosichè, se l'occhio fosse accomodato per l'infinito con una luce rossa, esso dovrebbe conservare il medesimo grado di adattamento per vedere distintamente colla luce violazza in una distanza di 26 pollici (713 mm.). Fraunhoffer trovò che si dovrebbe vedere ad una distanza minore ancora, cioè di soli 18 o 24 pollici al più; questo fatto prova che nell'occhio la dispersione della luce è maggiore ancora che in un occhio composto solo di acqua. Matthiessen calcolò che nell'occhio umano la distanza tra i punti focali del rosso e del paonazzo varia da 0,58 a 0,62 mm., e sarebbe invece 0,434 in un occhio formato d'acqua distillata.

Se invece di servirci della luce bianca noi adoperiamo una luce composta di due colori dello spettro, i quali abbiano fra loro il massimo grado di diversità di refrangibilità, il fatto diviene più evidente ancora; ed Helmholtz ne approfittò per costruire un suo ottometro.

Si faccia cadere la luce solare su di un vetro colorato in violazzo, il vetro assorbe i raggi medii e non lascia passare che i colori estremi dello spettro, cioè il rosso ed il violazzo (Se vuolsi adoperare la fiamma di una lampada che contenga poca luce azzurra e violazza ci serviremo di vetri azzurri, cioè tinti col cobalto, i quali lasciano passare poca luce arancio, giallo e verde, ed invece lasciano liberi i raggi rossi, violazzi ed indaco-azzurri).

Questo vetro viene collocato dietro un forellino fatto in un sipario, e così possiamo vedere l'apertura come un punto luminoso di colore misto rosso e violazzo. Se l'occhio è accomodato pel violazzo, i raggi rossi danno un cerchio di diffusione, e vedesi un punto violazzo con un'areola rossa. Se invece l'occhio è adattato pei raggi rossi, i raggi paonazzi formano un cerchio di diffusione, e vedesi un punto rosso con un'areola

violacea. Può inoltre avere luogo uno stato di adattamento intermedio, in cui il punto d'incrocicchiamento dei raggi rossi si fa dietro, e quello dei raggi paonazzi in avanti della retina, formando due cerchi di diffusione uguali e che si coprono. Il punto luminoso è veduto allora unicolore, cioè verde, e l'occhio trovasi in istato di adattamento intermedio fra il rosso e violetto.

In questo modo ottengonsi facilmente le distanze in cui l'occhio si può accomodare pei raggi medii dello spettro, cioè le distanze in cui l' occhio può vedere unicolore la luce mista rossa e violazza. Le differenze di coloramento della periferia vengono facilmente avvertite anche dai meno intelligenti. Se l'occhio è adattato per una distanza maggiore di quella del punto luminoso, i raggi rossi producono un cerchio di diffusione maggiore che i raggi violazzi; vedesi adunque al di qua del limite prossimo della visione distinta un orlo rosso con un cerchio violazzo. Quando l'occhio è adattato invece per una distanza minore di quella del punto luminoso (cioè se l'oggetto trovasi al di là del punto remoto dell'adattamento), vedesi un cerchio di diffusione rosso con un'areola azzurra.

I fenomeni sin qui esposti saranno intesi facilmente gettando uno sguardo sulla figura seguente.

Sia A il punto luminoso, b^1 b^2 il piano capitale anteriore dell'occhio

Fig. 52.



v il punto d'incrocicchiamento dei raggi violacei; r il punto d'incrocicchiamento dei raggi rossi; c c il piano sul quale s'incrocicchiano i raggi esterni rossi del cono luminoso refratto b^1 b^2 r ed i raggi violetti del cono b^1 b^2 v. La figura dimostra che se la retina trovasi avanti il piano c c, cioè se l' occhio è accommodato per un oggetto collocato più lontano

che A, essa non riceve alla periferia dell' immagine retinica che dei raggi rossi; invece sull'asse, essa viene impressa dai raggi misti dei due coni. Se la retina al contrario trovasi nel piano $c\ c$, l'occhio è accomodato pella luce di A, cioè in uno stato intermedio pei raggi estremi dello spettro, ossia pella media di refrangibilità dei colori dello spettro. La retina viene adunque ugualmente impressionata da tutti i raggi dalla luce mista. Infine, se la retina trovasi dietro il piano $c\ c$ (cioè se l'occhio è accomodato per un oggetto più vicino che A), essa riceve alla periferia i soli raggi paonazzi, e nel mezzo la luce mista.

Quando l'occhio è accomodato per A, la retina trovasi adunque nel piano $c\ c$. Se la parte inferiore dell'apertura $b^1\ b^2$, attraverso la quale entrano i raggi luminosi, viene coperta sino ad f, cioè se l' entrata dei raggi viene intercettata da b^2 sino ad f, noi vediamo che nel piano $c\ c$ i raggi violacei devono scomparire al disopra dell'asse, ed i raggi rossi al disotto dell' asse;....... sulla retina formasi in vece dell'immagine del punto A, un piccolo cerchio di diffusione rosso superiormente, e violazzo inferiormente.

Se invece di un punto luminoso trovasi in A una superficie ugualmente colorata, dovrà avvenire lo stesso. Per lo meno un colore dovrà formare sulla retina dei cerchi di diffusione. L'immagine di diffusione di una superficie ha, nel suo centro, una chiarezza uguale a quella di un'immagine perfetta (già l'abbiamo veduto al cap. 3°). I margini al contrario sono meno chiari e meno illuminati che il centro, ed invece di un margine acuto vedesi l'orlo meno rischiarato e largo quanto è largo il cerchio di diffusione dei punti marginali. Se l'immagine della superficie trovasi nel piano $c\ c$, dove i cerchi di diffusione rossi e violazzi sono ugualmente larghi, i colori saranno uniti ugualmente fino alla periferia. Nella visione le immagini di diffusione s'intervertono in apparenza (come abbiamo veduto al cap. 3° e nell'art. che precede). Se portiamo un sipario al davanti della pupilla, in modo di coprirla per metà, per es., se vengono intercettati i raggi da b^2 sino ad f, ben si vede che viene tolta la congruenza delle immagini colorate, e che i margini devono farsi colorati. Facilmente s'intenderanno pure le diversità di coloramento che devono avvenire nei margini dell'immagine quando la retina si porterà in avanti od indietro del piano $c\ c$.

Quando noi fissiamo un punto luminoso attraverso un prisma, lo vediamo come una linea colorata (spettro). Siccome però l'occhio non può adattarsi per tutti i colori nel medesimo tempo, la linea sarà veduta più larga nel sito in cui trovansi i colori pei quali l'occhio non è accomodato. Così se l'occhio si adatta pel rosso, i raggi azzurri troppo rifratti si estendono in una superficie a cagione dei cerchi di diffusione coi quali si di-

pingono sulla retina; avviene l'opposto se l'occhio è adattato pell' azzurro: le linee sono adunque vedute triangolari.

Il dottore Pope di Virginia ha proposto di servirsi di questo fatto applicandolo all'optometro di Scheiner. Fissando la linea spettrale (ottenuta fissando un punto luminoso di luce solare collocato dietro un prisma) attraverso due forellini, noi vedremo doppii tutti i punti di questa linea pei quali l'occhio non è adattato. Se l'occhio si adatta pei colori del centro dello spettro, lo spettro sarà veduto in forma di X; in forma di V se si accomoda per uno dei colori estremi.

Irradiazione.

Quando noi fissiamo, dentro i limiti dell'adattamento, i quadrati neri e bianchi di uno scacchiere, noi vediamo distintamente i limiti di separazione fra il nero ed il bianco. Tosto che lo scacchiere viene portato al di qua od al di là dei limiti dell'adattamento, i contorni dei quadrati si fanno confusi e si perdono in un circolo grigiastro; il centro dei quadrati è veduto ancora nero o bianco, ma gli angoli scompaiono ben tosto in questa nebbia. I cerchi di diffusione coi quali dipingonsi i quadrati bianchi sulla retina invadono l'immagine dei quadrati neri, i cui cerchi di diffusione cuoprono pure lo spazio della retina, dapprima occupato dalle sole immagini bianche. Questa miscela del colore bianco e nero forma la tinta grigia nella quale si confondono i margini dei quadrati. Gli angoli scompaiono i primi perchè in questo punto l'estensione del bianco e del nero è minore e più presto avviene la miscela sufficiente per togliere la percezione del bianco isolatamente dalla percezione del nero; si sa infatti che il fenomeno

dell'irradiazione è più apparente se l'immagine retinica è piccola.

Questo fatto trovò sua applicazione in pratica, come mezzo optometrico. Proposto specialmente dal V. Graefe esso può essere utilizzato con profitto ed a preferenza di altri metodi, specialmente allorchè si vuole esaminare l'adattamento coll'aiuto delle lenti.

Minimum degli angoli di percezione distinta.

(Giraud-Teulon, Snellen).

Quando noi fissiamo e vediamo un oggetto esterno, i raggi luminosi che ne sono emessi formano nella retina un'immagine di questo oggetto.

Nella visione monoculare, gli oggetti esterni non distinguonsi fra loro solamente per i loro contorni. Essi sono composti di un numero maggiore o minore di parti componenti o dettagli; ogni dettaglio o particolarità deve pure dipingersi nell'immagine retinica. L'esattezza colla quale l'immagine retinea rappresenta l'oggetto esterno ed i suoi dettagli è subordinata al grado di esattezza dell'accomodamento, poichè la forma, le dimensioni e disposizioni reciproche delle particolarità dell'oggetto cessano di essere rappresentate esattamente nell'immagine retinica quando la retina non trovasi nel foco dei raggi luminosi. Abbiamo provato infatti nel cap. 3° che i cerchi di diffusione non possono dare una immagine esattamente simile agli oggetti dai quali partono i raggi luminosi che formano l'immagine.

Non basta che si formi sulla retina un' immagine simile all' oggetto esterno, perchè esso venga veduto distintamente in tutti i suoi dettagli; è necessario che ogni dettaglio o parte componente l'immagine produca un' impressione isolata ed atta a produrre una

percezione distinta. Affinchè un dettaglio dell'immagine retinica venga percepito isolatamente, è necessario adunque che questo copra un dato numero di elementi senzienti della retina; in altre parole, l'immagine retinea di un oggetto (o particolarità di esso) deve avere una data estensione per essere percepita isolatamente. Ognuno intende facilmente che, se p. es. l'oggetto manda pochi raggi luminosi, o se i mezzi oculari fattisi meno trasparenti per un processo morboso impediscono in parte l'arrivo dei raggi luminosi alla retina, questi meno numerosi dovranno colpire una quantità maggiore di elementi senzienti della retina per produrre un'impressione che possa essere percepita dell'encefalo; l'immagine retinea dovrà adunque avere un'estensione maggiore. L'immagine dovrà pure impressionare una quantità maggiore di elementi senzienti, se la sensibilità della retina è diminuita per una causa qualunque, oppure se la trasmissione dell'impressione all'encefalo viene incagliata o se questa è ricevuta con minor facilità dal centro di percezione (p. es. nelle alterazioni del nervo ottico o dell'encefalo).

Queste condizioni per la visione distinta (monoculare) e le circostanze che possono modificarla vengono divise naturalmente in due ordini o classi distinte. Infatti un oggetto od una parte componente di esso, non è veduto in un modo perfetto:

1° Quando l'immagine retinea non è esattamente simile all'oggetto fissato... Il grado di esattezza dell'immagine retinica dipende dalla correlazione che esiste fra l'inclinazione dei raggi luminosi e la potenza di refrazione oculare (adattamento), cioè dal modo col quale i raggi luminosi vengono refratti;

2° Quando l'impressione prodotta dall'immagine retinica (o dettaglio di essa) sugli elementi senzienti della retina, non è sufficiente per produrre una percezione distinta ed isolata... Il grado d'impressione che deve ricevere la

retina affinchè ne avvenga percezione distinta, dicesi *Visus* (Snellen), *forza visiva* (*Sehkraft*, Donders) *acutezza* di visione, e viene misurato naturalmente dal numero degli elementi senzienti della retina che deve essere coperto dall'immagine retinica, cioè dall'estensione che l'immagine deve avere per produrre questa impressione e percezione distinta.

Alcuni esempi chiariranno meglio l'importanza di queste distinzioni. Fissiamo ad una distanza piuttosto grande (5 o 6 piedi p. es.) una lettera maiuscola stampata in nero e con ornati di forme e di dimensioni varie, quali ne troviamo non di rado ancora nelle stampe litografiche, noi potremo leggere la lettera, ma non vedere gli ornati. A misura che ci avanziamo verso la lettera, noi vediamo comparire nuovi ornati, nuove particolarità, di cui non potevamo nemmeno sospettare l'esistenza allorchè ci trovavamo a maggior distanza.

Cosa è avvenuto in questi cambiamenti di rapporti tra l'occhio e l'oggetto. Noi supponiamo naturalmente che il nostro occhio sia normale, e che egli goda della facoltà di adattarsi per ogni distanza; l'immagine retinica non ha dunque cessato un sol istante di essere perfettamente simile all'oggetto (in queste considerazioni non tengo conto degli effetti dell'irradiazione). Ma la dimensione dell'immagine retinea si è fatta maggiore in proporzione dell'avvicinamento, quindi anche tutte le parti dell'immagine retinica corrispondenti alle particolarità dell'oggetto si sono pure fatte più estese, ed a misura che queste particolarità o dettagli nell'immagine retinea si sono estesi al punto da coprire una quantità sufficiente di elementi senzienti, essi vennero percepiti. Le particolarità della lettera hanno necessitato un avvicinamento proporzionato alla loro minutezza.

Che un operato di cataratta fissi un carattere romano di stampa piuttosto esteso, avente p. es. l'estensione di 1 centimetro e collocato a piccola distanza, la lettura riuscirà possibile, ma la visione non è distinta. Basterebbe per esserne convinto di avere osservato il disinganno dipinto nella fisionomia di tutti i nostri operati, allorquando per la prima volta essi si provano alla lettura. Evidentemente il foco dei raggi luminosi deve formarsi dietro la retina, poichè manca la lente, cioè uno degli elementi principali della refrazione oculare. Ripariamo al difetto di potere di refrazione dell'occhio con una lente biconvessa, la visione delle lettere diviene più esatta e per servirmi dell'espressione la più ordinaria dei nostri ammalati, le lettere sono vedute quali sono in realtà, cioè colle loro vere forme e dimensioni.

Queste considerazioni sono elementari, ma pur troppo esse vengono non di rado ancora dimenticate dai pratici.

Un oggetto non può essere veduto distintamente, se la potenza di rifrazione oculare non è adattata perfettamente alla direzione dei raggi luminosi esterni: questo fatto può venire utilizzato onde accertarsi se l'occhio è adattato per la distanza in cui trovasi l' oggetto. Siccome però molte circostanze possono influire sulla visione, noi dobbiamo dirigere sempre i nostri sperimenti in guisa da potere discernere esattamente nella visione imperfetta, ciò che spetta al difetto di adattamento da ciò che spetta al difetto di acutezza visiva.

Credo perciò utile di dire alcune parole del metodo più generalmente adottato in pratica per misurare il Visus. Conoscendo il modo col quale un oggetto deve essere veduto, riesce facile di constatare se la refrazione oculare è adattata o non all'inclinazione dei raggi che ne provengono.

1° *Acutezza di visione.*

Dalle considerazioni or ora esposte emerge che il grado dell'acutezza di visione può essere misurato dal numero degli elementi che devono essere compresi nell'immagine retinea, affinchè ne risulti la visione distinta dell'oggetto. La misura, il limite dell'acutezza di visione vengono determinati dalla dimensione che deve avere l'immagine retinea per produrre una impressione distinta; perciò la dimensione *minima* che può avere una immagine perchè essa sia percepita, sarà quella voluta ad ottenere esatta misura del grado del Visus.

L'estensione dello spazio coperto dai raggi luminosi nella retina, ossia la dimensione dell'immagine retinea non potendo essere determinata direttamente, si studiò di conoscerla calcolandola dall'*angolo* nel quale devono essere compresi gli oggetti per essere veduti distintamente.

Infatti, riportiamoci alla fig. 37 (del cap. 3 pag. 82) ed immaginia-

moci che l'immagine retinea A' B' abbia questa dimensione *minima*, cioè supponiamo che se A' B' avesse un'estensione minore, essa non potrebbe più venire percepita distintamente; A *o* B misura l'angolo nel quale l'oggetto deve essere compreso per produrre un'immagine retinea avente la dimensione A' B'. Un oggetto collocato in a b dovrà avere una dimensione minore per produrre la medesima immagine retinea. La dimensione dell'immagine retinica trovasi adunque in correlazione diretta colla dimensione dell'oggetto, ma opposta in correlazione colla distanza dell'oggetto.

L'acutezza di visione viene adunque determinata dall'*angolo visuale minimo* sotto il quale è possibile la visione distinta di un oggetto di forme e di dimensioni conosciute.

Se gli angoli, sotto i quali si mostrano gli oggetti, sono piccoli, essi sono considerati in opposizione di relazione colla distanza ed in rapporto diretto colla dimensione dell'oggetto; ma se gli angoli sono maggiori, la grandezza degli oggetti deve essere calcolata dal doppio della tang. del mezzo angolo. In queste misure non s'intende parlare che della visione diretta, cioè delle immagini retiniche che formansi nel centro della retina; gli elementi senzienti della retina diminuiscono gradatamente ed in modo determinato dal centro della macula lutea alla periferia della retina, cosichè l'acutezza di visione nelle regioni periferiche deve essere calcolata con altre basi.

La *minima* dimensione dell'immagine retinea esattamente percettibile non può essere determinata in un modo assoluto; essa deve naturalmente variare secondo gli individui, secondo le età, secondo le alterazioni degli organi della visione. Inoltre la forma, la disposizione, l'illuminazione dell'oggetto ecc., possono influire moltissimo sulla natura dell'immagine retinica. Gli oggetti destinati alle mensurazioni del *Visus* devono adunque venire scelti fra i più semplici non solo, ma venir costruiti in modo da offerire un valore relativo uguale per tutti gli individui.

Alcuni presero per tipo delle loro misure degli oggetti isolati e di forme determinate. Questo metodo pare infatti il più semplice, ma nella pratica esso offre degli inconvenienti numerosi. Fissiamo infatti un punto, oppure una piccolissima superficie angolare; a misura che noi allontaniamo questo oggetto, l'immagine retinica si fa minore, perchè l'angolo visuale diminuisce, e la lontananza massima in cui questo punto, questo oggetto può es-

sere veduto, indicherebbe il limite dell'acutezza di visione. Ma riesce molto difficile, anche per i più intelligenti, di precisare esattamente il punto in cui cessa la visione distinta. È questa probabilmente la ragione principale per la quale noi troviamo tanta divergenza negli autori di fisiologia sul grado normale dell'acutezza di visione (G. T.).

Nella pratica gli oggetti per la misura dell'acutezza di visione vanno scelti di preferenza fra i più famigliari ed i meno complicati.

Non è necessario che tutte le particolarità dell'oggetto presentino le medesime forme e le medesime dimensioni : basta che una di queste particolarità sia essenziale per la costituzione dell'oggetto, in modo che scompaia la possibilità di discernere l'oggetto, tosto che questa particolarità sfugga alla visione.

Immaginiamoci una lettera del nostro alfabeto, l'*O* per esempio. Essa è composta essenzialmente da una riga circolare nera, limitante un intervallo bianco; tosto che l'intervallo bianco non sarà più rappresentato nell'immagine retinea con una dimensione sufficiente, la lettera non sarà più leggibile.

Fissiamo la tavola di un giuoco di scacchi, il nero ed il bianco essendo alternati offrono altrettante particolarità facilmente distinte l'una dall'altra, purchè le loro immagini retiniche abbiano dimensioni bastevoli per produrre un'impressione distinta ed isolata; allontanando lo scacchiere, le immagini retiniche dei quadrati si fanno minori, e giunta ad una certa distanza, la tavola è veduta confusa, perchè le immagini sono divenute insufficienti. L'ultima distanza in cui riesce possibile di leggere la lettera, o di vedere uno dei quadrati (vedremo che non è indifferente di scegliere un quadrato nero od un quadrato bianco dello scacchiere), indica che la dimensione dell'immagine retinea ha raggiunta l'ultima sua dimensione percettibile, ed allora l'angolo visuale in cui è compreso il dettaglio scelto (l'intervallo bianco della lettera, od un quadrato dello scacchiere), misura il grado dell'acutezza di visione.

La dimensione dell'oggetto scelto per la misura della forza visiva deve variare a seconda della distanza a cui esso viene presentato all'occhio, ed essere proporzionata inoltre al grado dell'acutezza di visione.

I pratici diedero quasi sempre la preferenza ai tipi di stampa

di varie dimensioni; le lettere stampate del nostro alfabeto corrispondono molto bene a questo scopo, sia perchè esse sono le più regolari, sia perchè potrebbonsi difficilmente trovare oggetti più generalmente conosciuti.

Nell'intento di fare adottare dei tipi uniformi e determinati Jaeger pubblicò una *scala tipografica*, nella quale le lettere non sono isolate, sibbene riunite in parole ed in periodi; il grado di acutezza di visione viene misurato dalla distanza massima in cui riesce possibile la lettura.

Questa scala è divisa in 20 numeri; la dimensione delle lettere varia coi numeri. Nel n° 1°, per esempio, la dimensione delle lettere è di 0,2 di linea, il n° 20 invece consta di lettere di 8 linee incirca.

Questa scala però offre due inconvenienti gravissimi. La lettura di una parola, di un periodo non può servire di base esatta per la misura del *Visus*. Infatti basta sovente di potere discernere poche lettere di una parola, o poche parole di un periodo per indovinare quelle che ci sfuggono, e così leggere senza visione distinta; altra volta invece la lettura offre difficoltà maggiore per il troppo avvicinamento reciproco dei caratteri. Inoltre la progressione colla quale i caratteri della scala di Jaeger aumentano di dimensione, non è regolare, esatta, e tosto noi vedremo l'importanza di questo difetto.

I dottori Giraud-Teulon (in Parigi) e Snellen (in Uttrecht) pubblicarono contemporaneamente (1862) delle scale tipografiche fondate l'una e l'altra sulla misura dell'angolo visuale.

Nell'una e nell'altra scala i caratteri sono di dimensioni proporzionate alle distanze in cui essi devono essere collocati per essere veduti sempre sotto il medesimo angolo visuale.

Snellen scelse dei caratteri di stampa, le cui gambe hanno uno spessore di un quinto della loro altezza; ogni lettera ha nel suo complesso una forma presso a poco quadrata. Egli prese per tipo dell'acutezza di visione l'angolo visuale di 5 minuti, considerando l'immagine retinea formata sotto questo angolo quale il limite estremo della sensibilità retinea della percezione distinta, così che un occhio normale deve distinguere alla distanza di 1 piede i caratteri di stampa aventi la dimensione di 0,209 di linea; questi caratteri appartengono al n° 1 della sua scala. Nei

numeri successivi, la dimensione dei caratteri aumenta con una progressione regolare, cosichè una lettera qualunque della scala sarà veduta sotto l'angolo visuale di 5 minuti purchè il carattere venga collocato alla distanza indicata dal numero al quale esso appartiene. In tutte le sue lettere, egli cercò di fare si che le dimensioni delle parti chiare e delle parti nere conservino le medesime proporzioni.

Secondo il signor De Han l'acutezza di visione si conserva uguale sino a 27 anni, poscia decresce lentamente cogli anni, sicchè nell'età avvanzata essa è ridotta di metà. Il dottor Snellen ha fatto il suo tipo del *V* un po' al di sotto della media. Sicchè quando $V=1$, non si deve supporre l'esistenza di anomalia.

Nella scala di Giraud-Teulon, la parte piena (nera) delle lettere è sensibilmente uguale allo spazio intermedio bianco; questo però è un po' minore per riparare all'effetto dell'irradiazione. La progressione ha per unità l'intervallo di 0,10 millimetri, che a 33 centimetri (1 piede) deve formare un'immagine retinea di millimetri 0,005, compresa cioè in un arco di 1 minuto. Tutti i numeri della scala corrispondono alla distanza a cui devono trovarsi le lettere per formare costantemente la detta immagine retinica di 0,005 millimetri di dimensione.

Riesce facile con queste scale di misurare il grado di acutezza di visione. Supponiamo infatti che l'occhio esaminato possa vedere distintamente le lettere del n. 1 sino alla distanza di 1 piede e non al di là, l'acutezza di visione corrisponde al tipo, all'unità adottata in queste scale; il *Visus* $V=1$. Il n. 2 dovrà perciò essere veduto sino alla distanza di 2 piedi, il n. 100 sino alla distanza di 100 piedi, perchè, in queste distanze questi caratteri sono compresi nell'angolo visuale tipo di visione cioè = 5 minuti, e quindi producono sulla retina un'immagine d'una dimensione costantemente invariabile.

Se invece alla distanza di 1 piede non si vede che il N. 2, l'acutezza di visione, in confronto col tipo adottato, sarà $=\frac{1}{2}$. Nella distanza di 2 piedi non si potrà vedere caratteri appartenenti ai numeri inferiori al n. 4; il n. 100 non sarà veduto al di là di

50 piedi. Se il n. 10 non è veduto al di là di 6 piedi, oppure se il n. 20 non è letto al di là di 8', il Visus sarà in questi casi $=\frac{6}{10}$, od $=\frac{8}{20}$.

Adunque indicando con V l'acutezza di visione, con N il numero del carattere di stampa e D la distanza massima in cui questo carattere può essere veduto distintamente, il grado di acutezza di visione sarà determinato colla formola seguente: $V=\frac{D}{N}$.

Talvolta l'acutezza di visione viene trovata maggiore del tipo indicato, ed è questo un caso frequente.

La scala dei caratteri dello Snellen consta di lettere nere stampate su di un fondo bianco, ed inoltre di lettere bianche su di un fondo nero. Gli uni e gli altri sono veduti in un modo uguale da un occhio normale, però i caratteri più sottili sono veduti meglio, se sono bianchi sul nero, ed i caratteri più spessi meglio se neri sul bianco; nell'affievolimento del Visus, specialmente se esso è l'effetto di diffusione della luce per intorbidamento dei mezzi rifrangenti, il bianco sul nero è veduto meglio che il nero sul bianco.

Nella scala dello Snellen esistono inoltre caratteri colorati per studiare il *Visus* per ogni colore, nonchè linee di varie direzioni per lo studio dell'astigmatismo di cui parleremo più avanti. Esistono pure caratteri riuniti per la lettura, disposti però a distanze l'uno dall'altro presso a poco uguali alla stessa parte bianca delle lettere. La lettura si fa naturalmente con maggiore difficoltà nelle limitazioni del campo visuale.

Siccome il *Visus* nei limiti dell' adattamento deve essere uguale per ogni carattere, possiamo con prove e controprove fatte con caratteri di dimensioni varie e collocati in distanze varie e proporzionate, accertarci della sincerità dell'esaminato. È questo un vantaggio sopra tutto utile nelle perizie legali militari. Per es., un esaminato dice di non vedere il n. 50 che a 5 piedi, dunque sarà il $V=\frac{5}{50}=\frac{1}{10}$; ebbene egli dovrà leggere il n. 10 ad 1 piede, il num. 5 ad $\frac{1}{2}$ piede (Naturalmente si dovrebbe correggere i difetti della rifrazione, se esistessero).

Nell'Ospedale Oftalmico di Torino tale metodo per misurare il *visus* fu trovato il più utile, e l'esperienza di ogni giorno ci rende sempre più convinti e della

sua speditezza e della sua facile applicazione. In ognuna delle sale destinate alle visite degli infermi od agli esami oftalmometrici vennero tracciate le distanze su di una delle pareti laterali, nel modo stesso che lo vidi praticato nella clinica del professore Donders. Le misure decimali essendo le uniche adottate nel nostro paese, le distanze sono numerate in metri; la riduzione ne viene fatta facilmente in piedi; o meglio la riduzione è fatta in misure decimali sui medesimi caratteri di stampa. La lunghezza delle nostre sale misura dai 7 agli 8 metri; in una delle estremità della linea di misura, e sulla parete opposta alla finestra sono collocati i caratteri di stampa n° 10, 15, 20.... 100.... 200. L'osservando collocato all'altra estremità deve cercare di leggere uno di questi caratteri. Con tale disposizione si ottiene l'illuminazione massima, e nello stesso tempo uniforme degli oggetti; l'osservando col dorso rivolto verso la finestra, non soffre abbagliamento dalla luce. Ho trovato che il tipo del *visus* nel nostro paese corrisponde alla lettura del n° 20 in una distanza di 8 metri (24 piedi incirca), cioè che il *visus* è di 1[5 incirca superiore alla media trovata dal dottor Snellen.

Se la facoltà visiva è alterata in modo che l'occhio non possa vedere nemmeno il n° 200 da un' estremità all'altra della stanza, l' infermo dovrà essere avvicinato finchè divenga possibile la lettura di uno dei caratteri.

Ma in tutte le sue ricerche il pratico non deve dimenticare mai che l'esame deve essere fatto sempre, per quanto è possibile, nelle medesime condizioni di illuminazione, epperciò quasi sempre nelle medesime ore del giorno.

L'acutezza di visione varia assai, a seconda del grado *assoluto* d'illuminazione dell'oggetto. Un rischiaramento troppo *debole*, come pure una quantità *eccessiva* di luce diminuiscono il *visus*, perciò converrà collocare sempre i caratteri di stampa nelle medesime condizioni d'illu-

minazione. Il colore delle pareti della stanza in cui viene effettuato lo sperimento arreca pure delle variazioni nel grado di visione: un carattere nero è veduto meglio in una stanza con pareti bianche, probabilmente pel contrasto maggiore del colore nero sul fondo bianco, e perchè tutte le parti della retina sono in questo caso colpite dalla luce bianca, fuorchè nel sito occupato dall'immagine nera.

La dimensione della pupilla ha pure una grande influenza sul *visus*. Generalmente l'acutezza di visione aumenta colla dilatazione della pupilla, se l'adattamento oculare è perfetto; ma si capisce pure che il *visus* deve migliorare col restringersi della pupilla, allorchè l'immagine retinea formasi con cerchi di diffusione. Il Giraud-Teulon consiglia, per misurare più esattamente il *visus*, di fare l'esame col mezzo di un foglio di carta pertugiato con una spilla e collocato vicino all'occhio.

Questo mezzo è utilissimo quando vuolsi misurare unicamente l'acutezza di visione ed in modo da evitare ogni influenza della refrazione oculare sulla visione. Si capisce infatti che i raggi penetrando per un'apertura piccolissima (minore dell'apertura pupillare), la dimensione dei coni luminosi nell'occhio deve farsi minore in proporzione della diminuzione della loro base, cioè dell'apertura d'entrata dei raggi; e che perciò gli effetti dei cerchi di diffusione sulla visione devono pure cessare, l'occhio essendo ridotto allo stato di camera oscura matematica (circostanza utile per misurare il *visus* indipendentemente dalla refrazione oculare, ma la quale impedirebbe nel medesimo tempo di potere constatare se la refrazione oculare è adattata all'inclinazione dei raggi luminosi).

Le parti nere non hanno in tutte le lettere le medesime relazioni di proporzione colle parti bianche, cosichè alcune lettere sono vedute più distintamente ed in maggior distanza delle altre. Le ricerche colle lettere *U*, *A*, *C*, *L* darebbero, secondo il Donders, un'acu-

tezza di visione maggiore di un settimo che negli esami colle altre lettere. Converrà adunque per lo più servirsi delle medesime lettere.

Si sono fatte molte opposizioni al valor fisiologico di queste scale, e specialmente si è obbiettato come il *minimum* dell'angolo visuale vada modificato dall'irradiazione normale. Si sa infatti che un quadrato nero su di un fondo bianco, o un quadrato bianco su di un fondo nero appaiono di dimensione maggiore della loro grandezza reale; questo fatto, oggidì generalmente spiegato dalla dispersione della luce, è più apparente ancora, allorchè l'immagine retinea è piccolissima. Ma non dobbiamo dimenticare che la costruzione di queste scale fu fatta più ancora sperimentalmente che colla sola scorta del principio che ne fu il punto di partenza; è questa probabilmente la ragione per cui la scala di Snellen è molto più esatta di quella del Giraud-Teulon, benchè l'una e l'altra sieno fatte sulle medesime basi. D'altronde, se da un individuo ad un altro queste scale non hanno valore assoluto come tipo di acutezza di visione, esse non offrono che inesattezze di poco momento negli esami fatti nel medesimo individuo in cui sempre si cerca di ottenere immagini della medesima dimensione. Piuttosto ammetterci le opposizioni fatte a queste scale come mezzo di confronto del *visus*, quando, per malattia oculare, l'immagine retinea debb'essere molto estesa per essere percepita. La parte della retina colpita da questa vasta immagine non può più essere considerata come ugualmente sensibile in tutta la sua estensione. E se è vero che la sensibilità retinea diminuisce dal centro alla periferia colle medesime proporzioni, il grado di acutezza dovrebbe venire calcolato con questo nuovo elemento. Ed in realtà noi troviamo non di rado la scala dare risultati poco esatti negli alti gradi di diminuzione del *visus*.

Non devesi dimenticar neppure che l'aumento di refrazione oculare fa sì che in piccola distanza i caratteri sono veduti più distintamente che nelle grandi distanze. È questo un elemento, del quale gli autori mi paiono non aver tenuto conto, e col quale possono venire spiegate alcune delle irregolarità osservate nei risultati ottenuti con questi mezzi.

Quando si vuole misurare il *visus* e l'adattamento colle lenti, non devonsi dimenticare gli effetti di queste sulla dimensione delle immagini retinee; ma di questo avremo campo di occuparci più avanti.

2° *Misura della refrazione coi caratteri di stampa.*

I caratteri di stampa e specialmente le scale tipografiche di Giraud-Teulon e di Snellen possono venire im-

piegate non solo nella misura dell'acutezza di visione, ma anche come mezzi optometrici per misurare la refrazione oculare. Poche considerazioni ed alcuni esempi basteranno per chiarire il modo col quale essi devono essere adoperati quando si vuole constatare se l'occhio può adattare la sua refrazione per la visione in una data distanza.

Il modo di procedere per constatare l'esattezza dell'adattamento coi caratteri di stampa deve variare moltissimo a seconda delle circostanze, ma si dovrà sempre e prima d'ogni altra ricerca conoscere l'acutezza di visione; supponiamo infatti, per es., che si trovi che l'occhio non può distinguere il n° 1 nella distanza di 1 piede, non si potrebbe con questo semplice esame complessivo discernere se l'impossibilità di vedere è dovuta alla diminuzione dell'acutezza di visione, od al difetto della refrazione oculare.

Quando noi vorremo accertarci se l'occhio può adattare la sua refrazione per una data distanza, dovremo collocare in questa lontananza il numero della scala corrispondente al grado dell'acutezza di visione; cioè verranno presentate le lettere le *più piccole* che l'esame del *visus* ci avrà indicate potersi leggere ancora a questa distanza. Se la lettura della lettera è possibile, la refrazione dell'occhio esaminato è certamente adattato per la distanza in cui trovasi la lettera.

Il n. 1 della scala venga collocato a 1 piede al davanti di un occhio la cui acutezza di visione fu trovata = 1, cioè esattamente conforme al tipo della scala; l'acutezza di visione, in questo caso, sarebbe tale da permettere la lettura di queste lettere. Ma supponiamo che la refrazione oculare non possa adattarsi a questa distanza di 1 piede; non solo l'immagine retinica non sarà simile alla lettera, ma la visione di essa diverrà pure impossibile. Infatti l'immagine retinica dipingendosi con cerchi di diffusione, tutte le particola-

rità della lettera devono, nell'immagine retinea, farsi più larghe in proporzione della larghezza dei cerchi di diffusione; i cerchi di diffusione coi quali dipingonsi le righe nere della lettera devono adunque invadere e coprire in parte l'intervallo bianco dell'immagine retinica della lettera. Vedi cap. 3, pag. 73. Quest'immagine retinica dell'intervallo bianco essendosi ristretta, non ha più una dimensione bastevole per produrre un'impressione distinta, e mancando la percezione di questa particolarità essenziale della lettera, questa è veduta confusa. Che l'impossibilità di leggere sia dovuta ai cerchi di diffusione, ce lo proverà l'esame fatto col metodo proposto da Giraud-Teulon; facendo fissare attraverso un forellino, scompariranno i cerchi di diffusione e la visione diverrà possibile.

Ognuno avrà già inteso che il mezzo il più semplice per conoscere se l'occhio può adattare la sua refrazione per la visione ad una data distanza, consisterebbe nel procedere nel modo seguente. Fissando attraverso un forellino, si cerchi il carattere di stampa il più piccolo che è possibile di leggere a questa lontananza, e dopo di avere constatato che non è possibile di leggerlo ad una distanza maggiore, venga provata la visione lasciando l'occhio libero, cioè senza l'interposizione della carta pertugiata. Dalla possibilità e dall'impossibilità della lettura in questo secondo sperimento si potrà conchiudere se la refrazione oculare è o non è adattata.

Questo processo è però poco esatto. L'acutezza di visione viene modificata in modo sensibile nella fissazione attraverso il forellino, cosichè non di rado riesce possibile all'occhio lasciato scoperto di leggere i medesimi caratteri, sebbene non sia perfettamente adattata la sua refrazione. Però queste inesattezze dei risultati sono per lo più di lieve momento nella pratica.

Sarebbe più esatto di procedere nel modo seguente. Si cerchi di misurare in due distanze diverse il grado del *visus*. Quando avremo ottenuto il medesimo risultato in due distanze saremo certi di conoscere esattamente l'acutezza di visione (il lettore se ne convincerà facilmente leggendo le pagine 81, 82 ed 83). Conosciuto il carattere minimo che può essere letto in una data lontananza, riescirà facile di calcolare per tutte le altre distanze quàl'è il carattere minimo leggibile; se questo viene letto, la refrazione è adattata.

Immaginiamoci p. es. un occhio nel quale l'acutezza di visione venne misurata alla distanza di 10 piedi; l'acutezza di visione fu trovata $= \frac{10}{10}$, cioè in questa distanza di 10 piedi (e non al di là) fu possibile la lettura del n°10 della scala; alla distanza di 8 piedi (non al di là) fu possibile la lettura del n. 8. Vuolsi sapere se quell'occhio può accomodarsi per la distanza di 1 piede. La scala dovrà essere avvicinata sino alla distanza di 1 piede, e V essendo $= {}^{10}/_{10}$, od ${}^{8}/_{8}$ cioè $= 1$, sarà presentato il n.° 1 della scala. Se l'occhio può leggere le lettere di questo numero 1, esso può certamente adattare la sua refrazione per la distanza di 1 piede.

Se, invece di presentare il N. 1, si fosse presentato il N. 2 in questa distanza di 1 piede, l'esame non sarebbe stato esatto. Infatti l'immagine retinea dello spazio bianco della lettera avrebbe avuto il doppio della estensione richiesta per produrre l'impressione distinta, ed i cerchi di diffusione potrebbero invadere e restringere quest' immagine senza diminuirne l'estensione al punto da impedirne la percezione (vedi cap. III, *Della visione coi cerchi di diffusione*, pag. 73).

Supponiamo un altr'occhio sul quale il visus fu ricercato pure a queste distanze di 10 e di 8 piedi, ma la cui acutezza di visione minore che nel caso antecedente non li permetta alle dette distanze di vedere distintamente le lettere di un numero inferiore al n° 100, ed 80; in questo caso $V = {}^{10}/_{100}$, ${}^{8}/_{80} = {}^{1}/_{10}$. Nella distanza di 1 piede si do-

vrà adunque presentare all'occhio il n° 10, alla distanza di 2 piedi si dovrebbe presentare il n° 20; cioè il *visus* essendo 10 volte minore, si dovrà presentare, in ogni distanza, un numero 10 volte maggiore del numero considerato come tipo. Se le lettere dei numeri indicati sono lette in queste distanze, la refrazione è adattata per la visione nelle dette lontananze.

Un individuo non può nella distanza di 3 piedi leggere lettere di dimensioni minori delle lettere contenute nel n° 9: ma avvicinando il libro, si trova che nella distanza di 2 piedi egli legge il n° 4, e nella distanza di 1 piede egli legge il n° 2, che nella distanza di 1[2 piede egli legge il n° 1. Questa serie di ricerche provano che l'individuo ha un'acutezza di visione = 1[2, che egli può adattare la sua refrazione per la distanza di 1[2, di 1 e di 2 piedi, ma non per la distanza di 3 piedi, poichè a questa distanza egli avrebbe dovuto leggere il n° 6.

Le ricerche poi divengono più facili ancora coll'interposizione delle lenti, siccome lo vedremo nei capitoli seguenti, studiando dell'azione di queste sulla visione. Ci basta per ora di ricordare che per misurare l'acutezza di visione indipendentemente dalla refrazione, noi possiamo far leggere attraverso un forellino collocato contro l'occhio, oppure in due distanze diverse. Conosciuto il grado di acutezza di visione in una distanza, ci riescirà facile di calcolare per le altre il numero corrispondente al grado del visus. Vuolsi conoscere se l'occhio può adattarsi per una data lontananza. si presenti il numero in rapporto con questa, cioè il carattere di *minima dimensione* leggibile in detta distanza; dalla possibilità o dall'impossibilità della lettura si conoscerà se la refrazione oculare è o non adattata per la visione in questa lontananza (s'intende che per questo secondo esame l'occhio dovrà essere lasciato libero e non più coperto col sipario pertugiato).

In questa esposizione di varii processi optometrici non ho tenuto conto che del principio sul quale i loro autori si poggiarono per la loro costruzione. Moltissime circostanze patologiche possono indurre il pratico a scegliere un metodo a preferenza degli altri, e non potremo studiarle che più tardi, allorchè descriveremo le varie anomalie della refrazione oculare. Noi possiamo però sin d'ora intravedere alcuni dei vantaggi e degl'inconvenienti di questi varii processi.

L'optometria, secondo il processo di Scheiner, quantunque esattissima, è però difficile: la difficoltà poi diviene quasi insuperabile quando vuolsi praticarla coll'interposizione delle lenti. Una obliquità, anche minima, della lente rispetto all' asse visuale può far comparire la diplopia, ed è quasi impossibile di ottenere una correlazione perfetta di direzione fra l'asse visuale e l'asse della lente.

Gli optometri costrutti nell'intento di produrre la poliopia monoculare sono forse i più utili nella pratica. Il punto luminoso, quantunque di applicazione un po' meno facile, mi parve dare dei risultati più precisi quando l'acutezza di visione non era alterata. Se poi i mezzi, attraverso i quali i raggi luminosi devono correre prima di giungere alla retina, non hanno la loro trasparenza normale, i fenomeni della poliopia variano tosto, a seconda del grado e del sito occupato dalle opacità. Talvolta le apparenze sono più facilmente visibili, ed è questo specialmente il caso di alcune cataratte incipienti. Altre volte invece difficilmente osservasi vera diplopia, e più difficilmente ancora riesce possibile, per la confusione colla quale è veduto il punto o la linea, di discernere le apparenze dovute alla produzione della poliopia da quelle più specialmente prodotte dalla diffrazione e dalla dispersione della luce.

Se noi fissiamo i fili dell'optometro del V. Graefe, il fenomeno della poliopia si manifesta assai più rapida-

mente se essi sono esposti contro una parete un poco scura; se i fili sono collocati in faccia al cielo e contro una parete bianca molto illuminata, li vediamo per lo più allargarsi, producendo un fenomeno analogo all'*irradiazione* normale (la quale, si sa, è molto più pronunciata quando il contrasto fra i colori dell'oggetto e del fondo sul quale è veduto è maggiore, e quando l'oggetto è piccolo).

Tutti questi metodi poi divengono di un'applicazione assai limitata in pratica, quando l'acutezza di visione è diminuita considerevolmente. Allora l'esame coi caratteri di stampa può condurre ancora a risultati abbastanza precisi, laddove gli altri processi non possono più giovare. Ma i risultati ottenuti con queste misure sono dipendenti da un gran numero di condizioni che noi non dobbiamo dimenticare nelle nostre ricerche, epperciò noi dovremo dirigere sempre i nostri esperimenti in modo da potere discernere facilmente quanto si riferisce al *Visus*, da quanto va attribuito al difetto di refrazione.

Sicuramente questo metodo non offre, nei suoi risultati, il grado di esattezza che si può ottenere cogli altri processi. Esso è però quello che offre maggiore comodità nella pratica. Oltre al vantaggio di precisare nel medesimo tempo l'acutezza di visione ed il potere di refrazione oculare, questo processo permette di collocare il punto di mira a qualunque distanza e di lasciare all'occhio la sua intera libertà di movimento.

Però quando trattasi di esaminare se l'occhio può accomodarsi per le distanze minime, riesce di rado possibile di trovare, nei caratteri di stampa, il *minimum* di dimensione proporzionato alla distanza. Non dobbiamo dimenticare infatti che il carattere minimo (n° 1) deve essere letto per lo meno ad 1 piede da un occhio normale, ma che al di qua di tale distanza la lettura sarà possibile ancora, malgrado la formazione de' cerchi di

diffusione sulla retina. Colle lenti noi potremmo correggere la direzione dei raggi ed avvicinare *virtualmente* il libro senza cambiare la distanza reale e l'angolo di visione; ma tali cambiamenti nella sperimentazione la complicano ed inoltre modificano la dimensione della immagine retinica, siccome avremo campo di vedere.

Quando adunque l'acutezza di visione sarà normale, riescirà più conveniente, per misurare il limite prossimo della visione distinta, di ricorrere ad uno dei processi optometrici indicati più sopra.

Quando poi il *visus* è alterato al punto da non permettere la visione dei caratteri di stampa, dei quadrati o delle righe di massima dimensione, il pratico dovrà accontentarsi di presentare all'osservato degli oggetti di varie dimensioni, p. es., di fare contare le dita che egli fa muovere sul fondo nero del suo vestito, ecc., e mantenere la medesima distanza, cambiando però la direzione dei raggi coll'interposizione di lenti. In tali casi però nessun processo potrebbe dare risultati precisi e più utili.

Ruete propose un oftalmometro composto di una cassa chiusa, nella quale muovesi un tubo. L'osservato deve fissare attraverso il tubo un libro di cui non vede che poche parole e di cui egli non ha alcun mezzo di conoscere la distanza, fuorchè l'adattamento stesso. Vengono scelti caratteri di stampa maggiori o minori a seconda della distanza. Così divengono impossibili le simulazioni. Ma il fatto stesso di non vedere gli oggetti circostanti e di non potere giudicare delle distanze se non col solo adattamento, la graduazione del quale è più instintiva che volontaria, rende l'adattamento difficilissimo anche per le distanze medie, e l'esame è sempre lunghissimo e per lo più inesatto.

CAPITOLO VI.

Misura dell' estensione dell' adattamento

Un occhio normale vede ugualmente bene gli oggetti, siano dessi in grandissima od in piccola distanza. L'apparecchio diottrico oculare gode della proprietà di *adattare* il suo potere di refrazione in modo che il foco dei raggi provenienti da un oggetto si mantenga fisso sulla retina, qualunque sia la distanza in cui quest'oggetto viene veduto.

Quando un oggetto, fissato e veduto distintamente, trovasi in una distanza *fisicamente* infinita, i raggi emanati da quest'oggetto giungono alla cornea in istato di parallelismo fra di loro, e rifratti dall'apparecchio diottrico sono resi convergenti verso la retina. Essi s' incrocicchiano, o meglio hanno il loro foco nella retina.

Ora si avvicini quell'oggetto verso l'occhio, i raggi (di ogni fascio luminoso mandato dall'oggetto) non sono più paralleli fra loro; ma essi giungono alla cornea in istato di divergenza, e la divergenza de' raggi aumenta in proporzione dell'avvicinamento. Se l'occhio fosse dotato di uno stato invariabile di refrazione, questi raggi divergenti dovrebbero, dopo la refrazione, riunirsi in foco, non già nella retina, ma dietro questa membrana; e la distanza dietro la retina, verso la quale dovrebbero convergere questi raggi, aumenterebbe in proporzione dell'accostamento dell'oggetto. Ma sotto l'impulso della volontà e dell'istinto, la convessità del cristallino, e per conseguenza il potere refrattivo oculare, possono aumentare; cosichè i raggi giunti all'occhio trovano in quell'organo un potere di refrazione proporzionato alla loro inci-

denza sulla cornea. Questa facoltà, di cui gode l'occhio. di adattare il suo potere di refrazione alla direzione dei raggi luminosi, è detta *adattamento* o *refrazione dinamica*.

La facoltà di *adattamento* non è illimitata. Ognuno può convincersi su di se stesso, che al di *qua* di una certa distanza la visione diviene confusa; l'occhio non può vedere distintamente oggetti troppo avvicinati ad esso. Ugualmente, se fra l'occhio ed un oggetto collocato in una distanza invariabile vengono collocate delle lenti concave o convesse troppo forti, la visione di quest'oggetto cessa di essere distinta.

Quale sarà adunque *l'estensione dell'adattamento?*

Un occhio, quale l'abbiamo supposto finora, vede ugualmente bene dall'infinito ∞ fino alla distanza di pochi, supponiamo di 10 centimetri. L'estensione lineare dell'adattamento viene rappresentata dallo spazio che separa 10 centimetri dall'infinito. Noi avremmo adunque in questa linea due punti estremi, detti *limiti* dell'adattamento: 1° *Limite remoto* della visione distinta, $= \infty$; 2° *Limite prossimo* della visione distinta, = 10 centimetri. L'estensione lineare è compresa fra questi due limiti.

Questi dati, queste misure espresse in tal modo, non avrebbero alcun valore rispetto ai cambiamenti di refrazione avvenuti nell'occhio nell'atto dell'adattamento. Ma analizzando il caso già supposto di un occhio, il quale abbia la proprietà di conservare in un sito invariabile, cioè nella retina, il foco dei raggi luminosi, sieno dessi paralleli (provenienti dall'infinito), o molto divergenti (emessi da una distanza di 10 centimetri), noi abbiamo veduto che in questo passaggio dalla visione in lontananza alla visione in vicinanza, il grado di refrazione aumenta in proporzione dell'avvicinamento dell'oggetto, od in altre parole, a misura che la divergenza dei raggi si fa maggiore.

Il limite R. (*limite remoto*) corrisponde adunque al grado *minimum* di refrazione oculare; il limite P. (*li-

mite prossimo) corrisponde invece al grado *maximum* di refrazione, di cui l'occhio sia suscettibile.

Si ammette generalmente che l'occhio trovasi nel suo *minimum* di potere di refrazione quando l'adattamento è in riposo perfetto, cioè quando le potenze che presiedono all'aumento di refrazione oculare sono allo stato d'inerzia o d'indifferenza. L'occhio in riposo non gode che del suo stato minimo o *primitivo* di refrazione; esso cioè presenta quel potere di refrazione *invariabile* che avrebbe se fosse sprovvisto di adattamento.

Il limite remoto (*L r*) dell'adattamento può adunque venir chiamato *minimum di refrazione* oculare (*Lim. min.*) o semplicemente *Refrazione statica* o *primitiva* (*R*).

Nel limite prossimo (*L p*) l'occhio ha invece il massimo grado di potere di refrazione di cui esso sia capace, perchè l' adattamento è giunto al suo sforzo massimo di azione; allo stato *primitivo* di refrazione si è aggiunto tutto il potere rifrattivo che può essere acquistato coll'adattamento. In *L p* l'apparecchio diottrico oculare mette dunque in uso: 1° il potere primitivo di refrazione (potere di refrazione di cui l'occhio gode naturalmente senz'adattamento): e 2° tutta la potenza di refrazione che può acquistare coll'adattamento.

Chiamando *A* il potere di refrazione, di cui l'occhio può aumentarsi coll'adattamento, che può cioè aggiungere al suo stato primitivo di refrazione *R*, e dicendo che in L r lo stato di refrazione è $=$ R.... si vede che in L p la refrazione oculare è: $= R + A$.

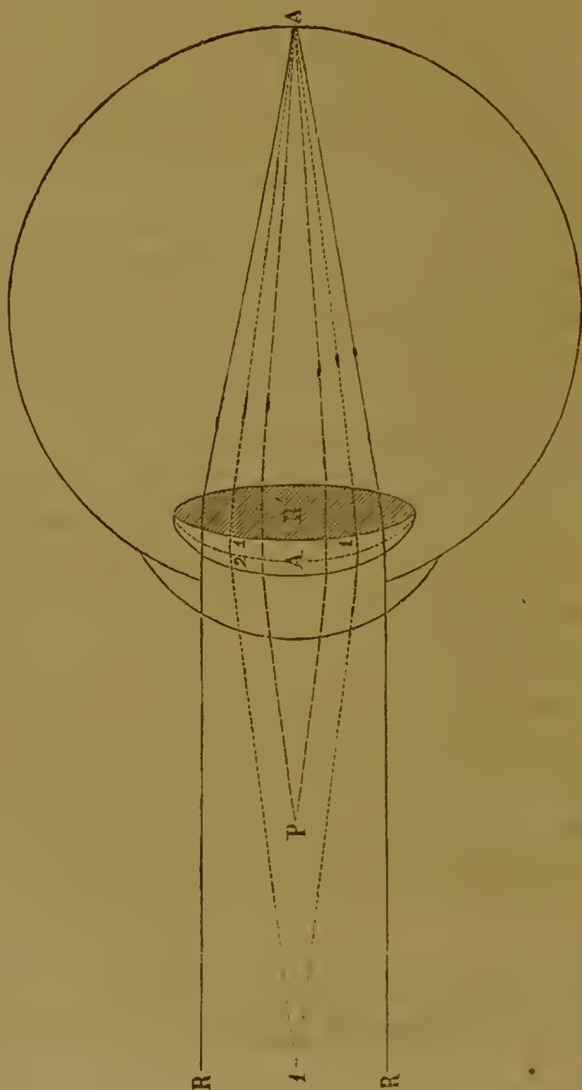
Conoscendo il grado di refrazione oculare in L p ed in L r, ci sarà adunque facile di conoscere la quantità di potere di refrazione (A) di cui l'occhio può arricchirsi coll'adattamento; infatti essendo:

$P = R + A$, si avrà

$A = P - R$; cioè la quantità di accomodamento sarà eguale alla refrazione sul limite *P* (cioè *Lp*) meno la refrazione *statica* o *primitiva*.

Allorquando l'occhio passa dalla visione in lontananza alla visione in vicinanza, il cristallino si fa più convesso. Questo aumento di convessità del cristallino (rappresentato nella fig. 3) è il solo dei fenomeni osservabili nell'adattamento, che ci possa spiegare i cambiamenti di refrazione oculare. Noi possiamo adunque immaginarci che sotto gli sforzi dell'adattamento si aggiunge alla superficie anteriore del cristallino un menisco di potere refrattivo convergente, il quale si fa sempre più convesso epperciò aumenta di potere di refrazione, a misura che l'oggetto fissato, avvicinandosi, manda all' occhio dei raggi più divergenti.

Fig. 53.



La figura schematica seguente rappresenta abbastanza bene il foco ed il potere refrattivo di questo menisco ideale, come pure il potere di refrazione di cui l'occhio può arricchirsi coll' adattamento. La lente R' rappresenta il cristallino dell'occhio adattato pel punto remoto *R*; a questa lente R' si

aggiunge il menisco A, quando l'occhio è accomodato per la visione nella distanza *P*. Si vede facilmente che il menisco da aggiungersi alla lente R' deve essere minore se l'occhio è adattato per una distanza 1, intermedia alle distanze *P* ed *R*; questo menisco 1 è indicato nella figura dalla linea punteggiata che divide il menisco A in due parti: ([1] e [2]).

Noi vediamo pure in questo schema, che la potenza di refrazione del cristallino accomodato pel punto P deve essere $= R + A$, in cui R indica il potere rifrattivo della lente R'... ed A, la refrazione nella lente A.

Esaminiamo ora la direzione dei raggi luminosi in un senso inverso, cioè dall'indietro all'avanti o dalla retina all'aria atmosferica; noi tosto vediamo che R corrisponde alla distanza focale coniugata anteriore della retina nell'occhio adattato pel limite remoto, e che il punto P invece è il foco coniugato anteriore della retina nell'occhio accomodato pel limite prossimo della visione distinta. R è adunque il foco anteriore dell' occhio quando il cristallino ha la convessità indicata in R'...., P è il foco ant. dell'occhio quando l'apparecchio cristallino consta delle due lenti R' ed A.

Siccome il potere di refrazione *r* di un apparecchio diottrico viene calcolato in senso inverso della sua distanza focale F, e che per conseguenza $r = \frac{1}{F}$, noi avremo:

$$\frac{1}{A} = \frac{1}{P} - \frac{1}{R}$$

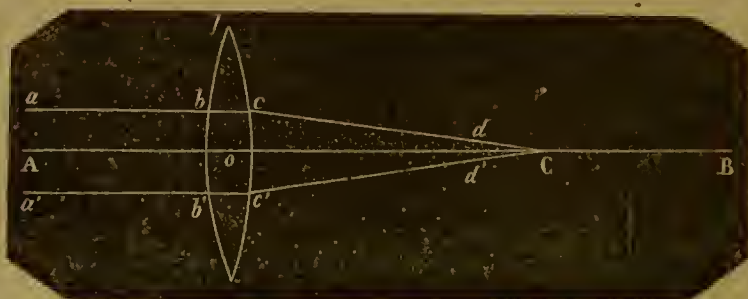
Questa formola ideata dal P.re Donders e la quale basterebbe da sè sola per lasciare del suo autore una memoria non peritura, è il punto cardinale dello studio pratico della refrazione oculare. Non ci basterebbe questa semplice esposizione, ma noi dobbiamo studiarne attentamente il valore e l'utilità.

Una lente biconvessa esposta ai raggi solari, li con-

centra in un punto più o meno esattamente matematico dal lato opposto alla superficie d'entrata. I raggi giunti paralleli alla superficie anteriore della lente sono refratti o modificati nella loro direzione in guisa che essi vengono a convergere dietro la superficie posteriore in un punto chiamato *foco principale.*

I raggi *a b*, *a' b'* (*fig.* 54) paralleli fra loro giungono

Fig. 54.



alla superficie anteriore della lente e prendono al di là della superficie posteriore la direzione *c' d'*, e *c d*, cioè convergono verso il punto *C*. La distanza tra *C* ed *o* (centro ottico) è la distanza *focale* principale di questa lente.

La distanza dietro la lente in cui vanno a convergere questi raggi, cioè il punto nel quale formasi il loro *foco*, è in correlazione col potere di refrazione di questa lente. Infatti supponiamo che il foco di una lente si formi alla distanza di 1 centimetro; un' altra lente, la quale non avrebbe che la metà del potere di refrazione della prima, imprimerebbe ai raggi una convergenza di metà minore, ed il foco di questa seconda lente si troverebbe in una distanza di 2 centimetri.

Questa prima lente scelta per tipo di confronto, avendo un foco di 1 centimetro, è dotata di una potenza di refrazione doppia della refrazione di cui gode una lente di 2 centimetri di foco..... 100 volte maggiore della potenza di refrazione di una lente, la quale avrebbe il suo foco in una distanza di 100 centimetri.

Viceversa una lente il cui foco si forma in una distanza di 100 c m. imprime ai raggi luminosi una refrazione 100

volte minore che una lente di 1 c m. di foco. Nel confronto del potere di refrazione di queste due lenti, noi vediamo adunque che la refrazione nella lente di 100 c m. di foco $= \frac{1}{100}$ della refrazione nella lente di 1 c m. di foco presa per tipo. La potenza di refrazione r di lenti di 2, 3, 4..... 100 c. m. di foco $= \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4}, \ldots \frac{1}{100}$ del potere di refrazione della prima lente avente 1 c m. di foco.

Il centimetro di foco che noi abbiamo adottato per tipo in questo esempio può essere scambiato con qualunque altra misura; ed in pratica sarà sempre meglio di attenersi al pollice, essendo questo il tipo finora adottato dai fabbricanti d'istrumenti di ottica e nella graduazione delle nostre lenti. Il valore della formola $r = \frac{1}{F}$ non viene alterato dal cambiamento del tipo, il quale da noi è per lo più il pollice di Parigi.

Il potere di refrazione delle lenti di dispersione può essere calcolato nella stessa guisa. I raggi *a b, a' b'* figura..... cadono paralleli sulla superficie anteriore della lente *l* biconcava. Dopo la loro refrazione questi raggi escono dall'altra faccia della lente divergenti fra loro: *c d, c' d'*; essi non possono adunque incontrarsi dal lato della faccia posteriore. Ma prolunghiamo questi raggi *c d* e *c' d'* in avanti, dal lato della faccia d'entrata od anteriore della lente, noi vediamo che questi raggi

Fig. 55.

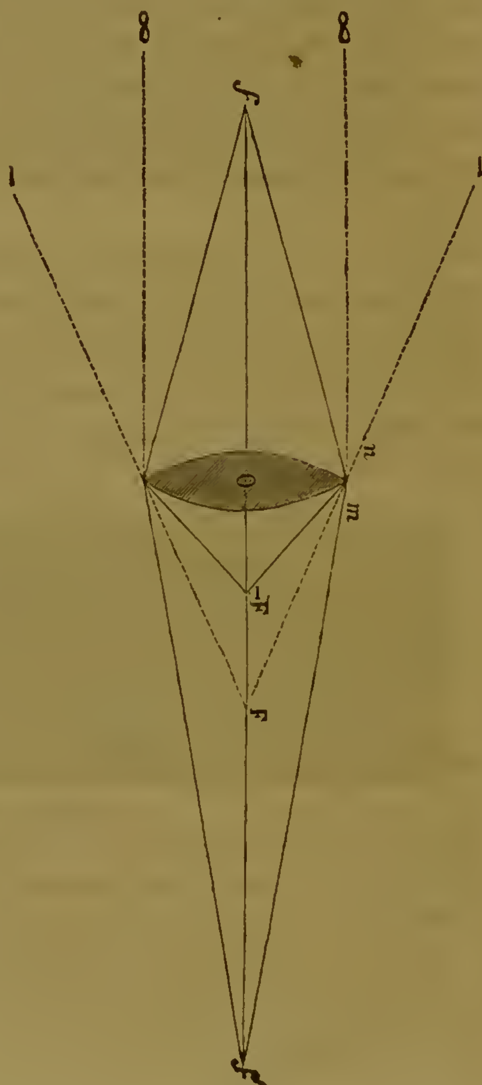


immaginari convergono e formano il loro foco in *A*. Il foco delle lenti essendo calcolato dalla distanza *dietro* il centro ottico *o* in cui s'incrocicchiano i raggi refratti, s'intende facilmente che la distanza focale principale di una lente di dispersione sarà negativa. Il foco principale di una lente di dispersione è *virtuale* e trovandosi in avanti, cioè dal lato della superficie d'entrata, essa sarà espressa col segno — F., perchè essa trovasi dietro il centro ottico in una distanza = — F. (cioè in avanti di una quantità = F).

10

Perciò il valore di refrazione delle lenti essendo $r = \frac{1}{F}$, noi dovremo per le lenti di dispersione dare ad $\frac{1}{F}$ un valore negativo e dire $r = -\frac{1}{F}$.

Se noi adunque potessimo conoscere la distanza focale posteriore dell'apparecchio diottrico-oculare nei due limiti *remoto* e *prossimo* della visione distinta, ci riuscirebbe agevole di calcolare il grado di refrazione primitivo dell'òcchio e la quantità di refrazione di cui esso si accresce coll'adattamento. Infatti, chiamando F la distanza focale principale dell'occhio nel suo stato *minimum* di refrazione, ed F^1 la sua lunghezza focale allorchè esso trovasi al suo *maximum* di refrazione, noi avremmo $\frac{1}{A} = \frac{1}{F1} - \frac{1}{F}$.


Fig. 56.

Pur troppo la determinazione di questi fochi principali offrirebbe in pratica delle difficoltà insuperabili.

Richiamando alla nostra memoria i principii esposti nel cap. 1°, o semplicemente gettando uno sguardo sulla figura 56, noi vedremo facilmente, che se dei raggi paralleli ∞ hanno dopo la refrazione il loro foco in F, degli altri raggi emessi da un punto f (sito tra la lente e l'infinito), cioè

divergenti verso la superficie anteriore della lente, formeranno invece il loro foco in *f'* sito dietro la lente al di là di F..... Trasportiamo ora il punto dal quale partono i raggi luminosi, dal lato della superficie posteriore *m* della lente; collochiamo per esempio questo punto luminoso in *F*; noi vediamo che i raggi emessi da *F* e giunti divergenti alla faccia *m*, escono dall'altra parte della lente allo stato di parallelismo. Se il punto luminoso è trasportato in *f'*, il foco dei raggi emessi da questo punto sarà invece in f.

Noi vediamo adunque che i fochi *F* e ∞ (l'infinito) sono coniugati l'un dell' altro. I fochi *f* ed *f'* sono ugualmente coniugati l' uno dell' altro, poichè i raggi emessi da f' si riunirebbero in f, e viceversa i raggi emessi da *f* convergerebbero verso f'... dopo la loro refrazione nella lente.

Già intravediamo che è possibile, *conoscendo la distanza al davanti di una lente verso la quale convergono raggi luminosi* emessi da un punto sito in una distanza determinata *dietro* la lente, di calcolare il foco principale e per conseguenza il potere di refrazione di questa lente. Ci basterà infatti per la soluzione di questo problema di ricordarci la formola 32 (§ 7° del cap. 1°). $\frac{1}{F} = \frac{1}{f} + \frac{1}{f'}$ (figura precedente), in cui F è la distanza focale principale (da determinarsi), *f* è un foco coniugato anteriore di f'... foco coniugato posteriore...

Supponiamo un fascio luminoso dirigersi alla lente dal punto f' e dividiamo col pensiero la nostra lente, o meglio il suo potere di refrazione, in due parti: 1° la prima lente conduce allo stato di parallelismo i raggi emessi dal punto f'; il potere di refrazione di questa prima lente $= \frac{1}{Of'}$, poichè raggi paralleli avrebbero, in questa lente, una distanza focale principale $= Of'$....2° la seconda lente conduce i raggi già resi paralleli dalla prima, verso il punto *f*; il foco principale in questa seconda lente è adunque $= Of$, ed il suo potere di refrazione deve essere $= \frac{1}{Of}$..... La lente nel suo complesso deve adunque avere un potere di refrazione (*Giraud-Teulon*) uguale alla somma della potenza

rifrattiva delle due lenti ideali, e rappresentando con F la distanza focale della lente, con f e con f' le due distanze focali coniugate, noi avremo:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f} + \frac{1}{f'}$$

Quando un oggetto è veduto distintamente, noi ammettiamo che il foco dei raggi emessi da ogni punto dell'oggetto si forma nella retina. Viceversa in questa disposizione dell'apparecchio diottrico oculare, dei raggi emessi dalla retina dovrebbero, dopo di avere attraversato, in senso inverso, gli stessi mezzi di refrazione, avere il loro foco nel sito stesso occupato dall'oggetto veduto.

La distanza dell'oggetto veduto dal punto capitale (o se vuolsi dal centro ottico) determina la distanza focale coniugata anteriore; la distanza della retina dal 2° punto capitale (oppure dal medesimo centro ottico) indica il foco coniugato posteriore.

Le variazioni nella convessità del cristallino sono i soli fenomeni avvertibili nell'adattamento ai quali si possano attribuire i cambiamenti della potenza di refrazione oculare; noi non ci discosteremo molto dalla realtà, accettando per ora l' ipotesi che la retina trovasi sempre nella stessa distanza dal punto capitale, sia l'occhio accomodato pel punto *Remoto* o pel punto *Prossimo* della visione distinta. Diciamo questa distanza f'.

Se l'occhio è accommodato pel punto remoto, i raggi emessi dalla retina e diretti verso questo punto verrebbero ad incrocicchiarsi in questo punto R. R è adunque il foco coniugato di f'.

Il potere di refrazione $\frac{1}{Fr}$ dell'occhio adattato per questo punto remoto sarà adunque $= \frac{1}{f'} + \frac{1}{R}$.

Colle stesse considerazioni noi intendiamo facilmente che $\frac{1}{Fp} = \frac{1}{f'} + \frac{1}{P}$ (in cui $\frac{1}{Fp}$ indica il potere di refrazione dell'occhio nel suo limite prossimo o *maximum*,.... f' la

sede invariabile della retina, ossia la distanza focale coniugata di P punto verso il quale l'occhio è adattato).

Dalle formole già discusse:

$$A = P - R \text{ e}$$

$$\frac{1}{A} = \frac{1}{Fp} - \frac{1}{Fr}$$

Noi potremo tirare le formole seguenti:

$$\frac{1}{A} = \left(\frac{1}{f'} + \frac{1}{P}\right) - \left(\frac{1}{f'} + \frac{1}{R}\right), \text{ cioè:}$$

$$\frac{1}{A} = \frac{1}{P} - \frac{1}{R}.$$

Io diceva nei capitoli 2° e 4° che i cambiamenti di refrazione, prodotti nell'apparecchio diottrico oculare dall'aumento di convessità del cristallino corrispondono all' estensione dell'adattamento che viene trovata col mezzo dell'optometria subbiettiva. L'esame comparativo dei risultati ottenuti con processi cotanto diversi non è scevro d'interesse e viene a conferma dell'esattezza delle ricerche esposte finora. Lo studio critico della formola del Donders ne fa maggiormente ancora risultare l'utilità.

Nei 4 occhi esaminati secondo il processo di Helmholtz, e le cui costanti diottriche trovansi indicate nella tabella della pagina 60, il dott. Knapp misurò, col metodo di Donders, l'estensione dell'adattamento. Per tutti questi occhi egli partì dalla supposizione che il punto remoto dovesse trovarsi all' *infinito*; epperciò nell' occhio num. 4 affetto da miopia egli aveva neutralizzato con una lente biconcava l'eccesso di refrazione di cui esso era affetto e trasportato così il punto R all'infinito.

Poscia egli misurò la distanza in cui trovavasi il foco coniugato della retina, supponendo il cristallino giunto al suo massimo grado di convessità, e la retina situata nel foco principale posteriore dell' apparecchio diottrico in riposo. Questa *distanza* doveva indicare pure il punto prossimo della visione distinta; per conoscerla si può procedere nel modo seguente.

Scegliamo, per esempio, l'occhio num. 2. Allorquando quest'occhio è accomodato per una grande distanza, i raggi giungono all'occhio in istato reciproco di parallelismo, e formano il loro foco nella retina; infatti l'incrocicchiamento o foco di questi raggi deve aver luogo, dietro la cornea, nella distanza focale principale posteriore F' del sistema diottrico, cioè nella retina che supponiamo collocata in F' dell'apparecchio adattato per i raggi paralleli. Noi vediamo nella tabella, che F' di quest'occhio accomodato per i raggi paralleli si trova a $21^{mm},347$ dietro la cornea; la retina si trova adunque in una distanza uguale, cioè $=21^{mm},347$ dietro il polo della cornea.

Il diametro antero posteriore dell'occhio non varia nell' adattamento. La retina rimane adunque nella medesima distanza dietro la cornea, allorchè l'occhio si accomoda pel punto prossimo della visione distinta. Diciamo *f'*

(formola 23, pag. 29) la distanza dalla retina al 2° piano capitale dell'apparecchio diottrico adattato per la vicinanza:... $f'=21^{mm},347-2,6633$ (distanza del secondo piano capitale dietro la cornea)... cioè $=18,6837$. Il foco principale anteriore F di questo sistema $=12^{mm},458$, ed il foco posteriore principale $F'=16^{mm},650$. La distanza f, al davanti del primo piano capitale, in cui devono formare il loro foco i raggi emessi dalla retina è dato dalla formola

$$f=\frac{Ff'}{f'-F'}=\frac{12,458.\ 18,6837}{18,6837-16,650}=114^{mm},34.$$

f ed f' essendo distanze focali coniugate, i raggi devono partire dalla distanza di $114^{mm},34$, al davanti del piano capitale ant. per riunirsi sulla retina. Il punto prossimo della visione distinta trovavasi adunque a questa distanza.

Si potrebbe ugualmente fare tale calcolo colla formola (22) $g=\frac{Gg'}{g'-G'}$ in cui g= la distanza al davanti del 1° p. nodale in cui i raggi emessi dalla retina formano il loro foco; g'= la distanza fra la retina ed il 2° p. nodale; G= la distanza al davanti del 1° p. nodale in cui trovasi il punto focale principale anteriore dell'apparecchio diottrico adattato per la vicinanza; e G' il sito dietro il 2° punto nodale in cui trovasi il punto focale posteriore pure dell'occhio adattato per la vicinanza. Si verrebbe a trovare g= m. m. 118, 5320.

Nella tabella seguente sono messi in confronto i risultati indicati or ora coi risultati ottenuti nell'investigazione optometrica subbiettiva; f indica la distanza focale coniugata anteriore dell'occhio, allorchè il cristallino aveva la sua massima convessità;........g ha la significazione indicata più sopra;.........P. indica il punto prossimo trovato coll'investigazione optometrica ordinaria.

	p	g	f	
	Millim. Pollici	Millim.	Millim. = Pollici	f—P=
Occhio N.° 1	107 = 3,953	172,4	168,03 = 6207	+61,03 m. m.
» 2	110 » 4,064	118,6	114,34 » 4227	+ 4,34 »
» 3	115 » 4,248	109,16	105,11 » 3883	— 8,99 »
» 4	87 » 3,214	100,97	96, 9 » 3581	+ 9,90 »
		media 136, 6		

Nell' occhio n° 1, la differenza fra i due risultati è notevolissima. Questa differenza proviene, dice il Knapp, da che il soggetto non era accomodato esattamente pel punto di mira allorchè egli fece le sue misurazioni dei raggi di curva della superficie di refrazione; per questo motivo f non è esatto ed è molto superiore alla realtà. Negli altri occhi i risultati hanno un'analogia rimarchevole, e quest'analogia diviene più evidente ancora allorchè si bada ad alcune cause di errore, proprie della formola di Donders.

In questa formola infatti, dicendo che $\frac{1}{A} = \frac{1}{p} - \frac{1}{R}$ noi supponiamo che la distanza f' fra la retina ed il 2° p. capitale dell'apparecchio diottrico si mantiene uguale nell'occhio adattato per la vicinanza e nell'occhio adattato per la lontananza. La retina non cambia sede, ma non così avviene del 2° piano capitale, il quale si porta indietro, cioè verso la retina, allorchè dalla visione in lontananza, l'occhio passa alla visione in vicinanza; f' deve adunque variare con cambiamenti di convessità del cristallino cioè nei cambiamenti della refrazione oculare. Nella ricerca del punto f, fatta più sopra con i risultati delle ricerche di Knapp, noi abbiamo tenuto conto di questo cambiamento di f' nei due stati opposti della potenza di refrazione. Dirigendo i nostri calcoli in modo da ritenere, come nella formola di Donders che la retina si trova sempre in uguale distanza dal secondo piano capitale, noi ben vediamo che f deve cambiare valore. Infatti nell'occhio n° 2, supponiamo che f', cioè la distanza tra la retina ed il 2° piano capitale sia uguale nel maximum di refrazione e nel minimum, cioè sia sempre = mm 18,742 (distanza focale principale posteriore dell'apparecchio diottrico accomodato per la lontananza), noi avremo per l'apparechio diottrico in istato massimo di refrazione:

$$f = \frac{18{,}742.\ 12{,}458}{18{,}742 - 16{,}650} = 111{,}^{mm}609.$$

Nell'occhio n° 3 noi troviamo pure, supponendo la distanza f' uguale nei due stati estremi di refrazione oculare, che f sarebbe $= 100^{mm}{,}64$. Mettendo in confronto il risultato ottenuto in questi ultimi calcoli, col valore di f indicato nella tabella che precede, noi vediamo che esiste una lieve differenza, cioè che la formola del Donders deve dare un valore di f un po' minore; infatti:

$$\frac{1}{114{,}34} : \frac{1}{111{,}61} = 0{,}976.$$

$$\frac{1}{105{,}11} : \frac{1}{100{,}64} = 0{,}957.$$

Facilmente si capisce adunque che la formola del Donders non potrebbe esprimere un valore esatto che nel caso in cui *f'* (o distanza fra la retina ed il 2° p. cap.) fosse uguale nell'occhio in riposo e nell'occhio adattato.

Già aveva fatto i calcoli che precedono allorchè il P.e Donders pubblicò l'edizione inglese dei suoi studi sulla rifrazione. Egli giunse ad un risultato quasi uguale al mio con un calcolo più semplice ancora.

Tutti i cambiamenti di refrazione oculare che si osservano nell'adattamento, provengono da una causa sola: il cambiamento di convessità del cristallino. La formola del Donders non avrebbe un significato fisiologico se essa non corrispondesse al cambiamento del potere di refrazione della lente stessa. L'estensione dell'adattamento constata nei 4 occhi del Knapp coll'optometria subbiettiva corrisponde bene col cambiamento di refra-

zione che subisce il cristallino. Donders (loco citato) calcolò che nella formola $\frac{1}{A}=\frac{1}{p}-\frac{1}{R}$, la media di $\frac{1}{A}$ ottenuta coll'optometria subbiettiva =m. m. 1 : 136 (calcolato dal punto nodale); e che la media di $\frac{1}{Fa}=\frac{1}{Fp}-\frac{1}{Fr}$=1:148.8 (Fp è la distanza focale principale del cristallino nel *maximum* di convessità, ed Fr la distanza focale principale del cristallino in riposo, ed $\frac{1}{Fa}$ la differenza di refrazione tra la lente adattata e la lente in riposo). $\frac{1}{Fa}:\frac{1}{A}$=0,918, il che prova che la lente cristallina riceve nell'adattamento l'addizione di una lente che ha i $\frac{9}{10}$ del potere di $\frac{1}{A}$, e la cui distanza focale è adunque $=\frac{10}{9}$ A. Adunque si può calcolare che una lente di un potere $=\frac{1}{A}$ ed il cui centro ottico fosse collocato nel centro ottico oculare, rappresenterebbe nelle circostanze ordinarie tutta l'estensione dell'adattamento, però con un errore approssimativo di $\frac{1}{10}$.

Queste considerazioni indicano già che l'estensione dell' adattamento deve essere trovata diversa a seconda della distanza che esiste fra la retina ed il cristallino. Noi avremo campo più tardi di studiare meglio tale questione. Voglio però esporre alcuni calcoli coi quali viene provato che un aumento od una diminuzione della distanza fra la retina e il cristallino, possono produrre una differenza sul valore di $\frac{1}{A}$.

Ho, in queste variazioni della distanza della retina dal cristallino, supposto, per i miei calcoli, che il foco principale anteriore dell'apparecchio diottrico è = mm. 14,8583 per l'occhio in riposo ed=mm. 13,274 per l'occhio adattato o nel suo massimo grado di refrazione; che il foco posteriore principale dell'occhio in riposo = mm.19,875, e che il medesimo foco nell'occhio adattato = mm. 17,756; che il foco principale posteriore trovasi in una distanza = mm.22,231 dietro il polo della cornea nell'occhio in riposo;... e che la distanza dal 2° punto principale al polo della cornea = mm. 2,3563 nell'occhio in riposo, ed = mm. 2,4819 nell'occhio adattato.

Queste sono le misure che il Donders adotta nel suo occhio ridotto; esse sono le medie che egli ha ottenute dall'esame complessivo delle misure prese da lui medesimo, dall'Helmholtz e dal Knapp (on the anomalies of refraction, ecc. London, 1864).

Poscia ho calcolato la distanza al davanti del primo punto capitale, in cui dovea farsi il foco dei raggi emessi da un punto della retina, nelle tre supposizioni seguenti (Io dico *f* questa distanza per l'occhio in riposo, ed *f* 2 la medesima distanza per l'occhio adattato; *f'* indica la distanza dietro il secondo punto capitale, in cui trovasi la retina nell'occhio in riposo, ed *f'* 2 la medesima distanza nell'occhio adattato. F ed F' indicano le distanze focali principali anteriore e posteriore dell'occhio in riposo; F2 ed F'2 le medesime distanze nell'occhio adattato).

I.

Supponiamo la retina trovarsi in una distanza di mm. 22,231 dietro la cornea, cioè nel foco principale posteriore dell' apparecchio diottrico in riposo; f' = F' = mm. 19,875 e secondo la formola $f = \frac{f' F}{f, - F''}$ noi avremo:

$$f = \frac{19,875.\ 14,858}{19,875 - 19,875} = \infty$$

$$\text{ed } f\,2 = \frac{19,740.\ 13,274}{19,740 - 17,756} = 132.$$

$$\frac{1}{f\,2} - \frac{1}{f} = \frac{1}{132}$$

II.

Ho supposto la retina trovarsi in una distanza = mm. 18 dietro la cornea quando l'adattamento è in riposo. La lunghezza dell'asse antero posteriore dell'occhio è adunque minore che nel caso precedente; questa diminuzione è = mm. 1,875..... noi abbiamo allora:

$$f = \frac{15,644.\ 14.858}{15,644 - 19,875} = -\ 54,934.$$

$$f\,2 = \frac{15,509.\ 13,274}{15,509 - 17,756} = -\ 91,618.$$

$$\frac{1}{f\,2} - \frac{1}{f} = \frac{1}{142}$$

III.

Ammettiamo che la retina si trovi in una distanza di 24 millimetri dietro la cornea dell'occhio in riposo; l'asse antero posteriore dell'occhio si è allungato di mm. 4,875, noi troviamo:

$$f = \frac{21,644.\ 14,858}{21,644 - 19,875} = 181,790$$

$$f\,2 = \frac{21.509.\ 13,274}{21,509 - 17,756} = 76,078$$

$$\frac{1}{f\,2} - \frac{1}{f} = \frac{1}{142}.$$

$$\frac{1}{132} : \frac{1}{142} = 1,075.$$

Bene vediamo adunque che il solo allungamento ed il raccorciamento dell'asse antero posteriore del bulbo devono arrecare modificazioni nell'estensione dell'adattamento. I cambiamenti avvenuti nella convessità del

cristallino sono uguali, ma i cambiamenti di refrazione oculare misurati dalla formola $\frac{1}{p} - \frac{1}{R}$ si sono modificati leggermente (di 0,075) dietro queste differenze della lunghezza del bulbo; differenze che noi vedremo trovarsi frequentissime nella pratica.

Molte altre cause possono pure modificare l'estensione dell'adattamento, misurata secondo la formola di Donders; in altra pubblicazione ho già esposto alcune di esse, e mi riservo di esporle nei capitoli che seguono. Fra queste non indicherò per ora che l'avvicinamento della lente cristallina alla cornea, il quale, oltre a produrre la miopia, diminuisce pure considerevolmente l'estensione dell'adattamento.



CAPITOLO VII.

Riepilogo e classificazione degli occhi dalla loro potenza di refrazione sul limite *R*. Misura del limite *R*. Semplificazione della formola $\frac{1}{F}$ delle lenti. Tabella per servire allo studio della refrazione e dell'adattamento.

Nel capitolo che precede noi abbiamo veduto modificarsi ed anche farsi più esatta la significazione delle parole *limite remoto* e *limite prossimo* della visione distinta. Il concetto di una distanza vera, reale dell' oggetto veduto venne abbandonata, e sostituita dall'esame dell'inclinazione reciproca che hanno i raggi al loro giungere all' occhio. La facoltà di cui l'occhio è dotato, di vedere a varie distanze, venne studiata quale funzione dell'apparecchio diottrico; e non si dice più che l'occhio si adatta alle varie distanze, sibbene che la refrazione oculare, oppure che l'apparecchio diottrico si adatta all'inclinazione dei raggi luminosi.

L' adattamento, o proprietà di cui gode l'occhio, di cambiare il suo grado di refrazione, essendo limitato, deve, come la visione distinta, avere due limiti estremi, fra i quali viene misurata la sua *estensione;* questi limiti sono segnati dai gradi *maximum* e *minimum* di refrazione ai quali l'apparecchio diottrico può giungere.

Affinchè i raggi formino il loro foco nella retina, è uopo che la loro inclinazione (sulla cornea, o meglio

sul punto capitale) cambi a seconda dello stato di refrazione oculare. Nella stessa guisa che noi ammettiamo due punti estremi o limiti nella potenza di refrazione oculare, noi dobbiamo trovare ugualmente in queste diverse inclinazioni dei raggi d'entrata due limiti, due inclinazioni opposte ed estreme, corrispondenti l'una al *minimum*, l'altra al *maximum* di refrazione oculare.

Tutte le inclinazioni dei raggi d'entrata intermedie a queste due inclinazioni estreme potranno essere vinte dall'adattamento in modo che il foco di quei raggi si mantenga nella retina. I raggi, la cui inclinazione all'entrata non è compresa fra questi limiti, non potranno avere il loro foco nella retina.

Immaginiamo il nostro occhio applicato immediatamente contro la faccia anteriore *n* della lente biconvessa rappresentata nella fig. 56 precedente, cioè dal lato *n:* nel lato opposto della lente, cioè al di là della superficie *m* trovasi un punto luminoso. Se questo punto luminoso viene collocato in — F, i raggi, alla loro uscita dall'altra parte della lente, sono divergenti fra loro, e l'occhio riceve dei raggi aventi fra loro la divergenza indicata nella figura.... L'occhio può accomodare la sua refrazione statica per quest'inclinazione, ed i raggi formano il loro foco nella retina. Se il punto luminoso si avvicina ancora verso la lente, i raggi giungono all'occhio in istato di divergenza ancora maggiore; ma se noi supponiamo che il foco di questi raggi più divergenti non possa più essere condotto sulla retina, noi dovremo dire che il massimo grado di refrazione oculare corrisponde all'inclinazione divergente già indicata. Quest' inclinazione sarà una delle inclinazioni estreme, quella cioè che corrisponde al *maximum* di refrazione oculare.

A misura che il punto luminoso si allontana da — F verso F, i raggi che giungono all'occhio sono meno divergenti; la loro inclinazione sulla cornea cambia e la

refrazione oculare deve pure cambiare, cioè diminuire per mantenere il foco di questi raggi sulla retina. Quando il punto luminoso è in F, i raggi giungono all'occhio in istato di parallelismo; e se l'occhio è giunto allora al suo stato minimo di refrazione, questi raggi formeranno ancora il loro foco sulla retina, ma l'occhio non potrà più accomodarsi pei raggi convergenti, e la direzione parallela dei raggi rappresenterà la seconda inclinazione estrema corrispondente al *minimum* di refrazione.

Supponiamo invece che l'occhio adattato pei raggi paralleli non sia giunto ancora al suo *minimum* di refrazione; in allora dei raggi che giungano all'occhio in istato di convergenza potranno ancora formare il loro foco sulla retina. Trasportando il punto luminoso da *F* verso *f'* noi vediamo che i raggi dall'altra parte della lente divengono sempre più convergenti a misura che il punto luminoso si avvicina ad *f'*, e che se esso si portasse al di là, i raggi giungerebbero all' occhio in una convergenza ancora maggiore. Ma ammettiamo che l'occhio non possa formare sulla retina il foco di raggi aventi una convergenza maggiore della convergenza dei raggi diretti in *f*, ebbene questa sarà l'inclinazione estrema corrispondente al *minimum* di refrazione. Questo *minimum* di refrazione non corrisponde a nessun limite o distanza reale al davanti dell'occhio, poichè da un oggetto collocato fra l'occhio e l'infinito non possono giungere all'occhio che raggi paralleli o divergenti; questa distanza sarà adunque *virtuale* e *negativa*.

S'intende facilmente che la differenza che passa fra l' inclinazione dei raggi nel *maximum* e l'inclinazione nel *minimum* di refrazione è assai maggiore nel secondo caso che nel primo, e che per conseguenza l'estensione dell'adattamento è molto minore nel primo che nel secondo caso.

Ora supponiamo un terzo caso, nel quale il potere

di adattamento non sarebbe maggiore che nel primo, ma nel quale il *minimum* di refrazione corrisponderebbe ad un'inclinazione convergente dei raggi, uguale alla convergenza dei raggi diretti in *f*. Quell'occhio non potrebbe conservare sulla retina il foco dei raggi aventi una divergenza uguale a quella che abbiamo veduto corrispondere al *maximum* di refrazione negli altri due casi. Noi potremmo anzi ammettere che al *maximum* di refrazione oculare corrisponda il parallelismo dei raggi luminosi.

Ognuno vede immediatamente in quale condizione diversa si troveranno questi due occhi dotati di uguale potere di adattamento. Nel primo dei tre casi ora supposti, la visione si fa ugualmente bene con raggi paralleli e con raggi divergenti, quest'occhio può adunque vedere in varie distanze; siano i raggi emessi da una distanza infinita, o da una distanza tra l' infinito e l'occhio, essi potranno formare ugualmente il loro foco sulla retina. Nella terza supposizione invece la visione degli oggetti collocati a distanza infinita potrà effettuarsi, perchè nel *maximum* di refrazione oculare i raggi paralleli avranno il loro foco nella retina; ma se l'oggetto è collocato tra l'infinito e l'occhio, esso cesserà di essere veduto distintamente, perchè la direzione dei raggi è allora divergente, e perchè il potere di refrazione, giunto già al suo *maximum*, non può più adattarsi ai raggi divergenti. Con un potere di adattamento normale, colla facoltà di accrescere e di diminuire la sua refrazione, quest'ultimo occhio non può vedere che in una sola distanza reale, cioè all'infinito.

Ben si vede adunque quanto è importante di determinare il limite *minimum* di refrazione oculare. Ogni cambiamento di questo limite produce necessariamente delle variazioni nel limite *maximum*. Supponiamo pure uguale il potere di adattamento in due occhi, se il potere primitivo di refrazione è minore in uno di essi, il *ma-*

ximum di refrazione sarà ugualmente minore, e con un adattamento uguale questi due occhi non potranno vedere distintamente a distanze uguali.

Il grado di refrazione che noi troviamo nell'occhio giunto al suo massimo grado di refrazione, cioè adattato pel punto *P*, dipende adunque dal grado di refrazione, di cui esso gode nel suo stato primitivo o *minimum* di refrazione e dall'estensione dell'adattamento. Ma l'adattamento non presenta in tutti gl'individui una estensione uguale; non tutti gli occhi possono aumentare il loro grado di refrazione primitiva della stessa quantità. Ecco una seconda causa di spostamento del limite prossimo della visione distinta.

Non è possibile adunque di precisare i limiti della visione distinta, senza avere determinato esattamente il valore della refrazione nei suoi due limiti *minimum* e *maximum*. Ognuno può intravedere quanto importi in pratica di sceverare nello studio della refrazione le anomalie del grado primitivo o statico di refrazione dai difetti dell'adattamento. Non essendo possibile di misurare l'adattamento senza conoscere il valore dei suoi due limiti estremi, conviene stabilire una prima classificazione basata sul valore di questi limiti. Ma il punto di partenza delle nostre ricerche e dei nostri studi dovrà essere scelto nel *maximum* o nel *minimum* di refrazione?

Noi abbiamo veduto che il valore del limite *maximum* trovasi essenzialmente sotto la dipendenza di due fattori: 1° refrazione primitiva (limite *minimum*); 2° estensione dell'adattamento (o facoltà di accrescere il grado primitivo di refrazione). Inoltre l'influenza del limite *minimum* sull'adattamento non si fa sentire solamente sul limite *maximum*, in cui tutto l'adattamento è in atto; quest'influenza si continua in tutta l'estensione dell'adattamento, siccome tantosto vedremo.

Nello studio della refrazione oculare si deve perciò stabilire una prima classificazione degli occhi basata sul valore della potenza di refrazione nell'apparecchio diottrico in *riposo*, cioè sulla refrazione *primitiva* o *minima*.

Considerando l' occhio nel suo stato di *minima* rifrazione, noi possiamo trovare:

1° O che la retina è nel foco principale posteriore dell'apparecchio diottrico; cioè che i raggi giunti paralleli sulla cornea formano il loro foco nella retina. Questo stato proprio dell'occhio *tipo* è detto *Emmetropia*;

2° O che la retina non corrisponde alla sede del foco principale posteriore; questo stato è detto *Ametropia*. I raggi giunti paralleli alla cornea possono formare il loro foco: *a*) al davanti della retina ed abbiamo la *Brachimetropia*, *Miopia*; *b)* oppure dietro la retina, ed abbiamo l'*Ipermetropia*.

Nell' occhio ametropo, il foco dei raggi paralleli si forma al davanti della retina o dietro di essa. Il grado di refrazione primitiva trovasi in *eccesso* od in *difetto* rispetto alla sede *occupata* dalla retina ed i raggi per formare il loro foco in questa membrana devono giungere alla cornea divergenti o convergenti fra loro a seconda della posizione *anteriore* o *posteriore* della retina rispetto al foco. Il grado dell'ametropia viene misurato naturalmente dalla distanza che separa la retina dal foco principale (F) del sistema diottrico in istato *minimum* di refrazione (fig. 56).

Studiando la formola del Donders nel capo VI, noi abbiamo veduto che *R* esprime la distanza focale coniugata anteriore di raggi emanati dalla retina (*supponendo sempre l'occhio in riposo*), cioè la distanza al davanti dell'occhio (piano cap. ant.) alla quale, dei raggi luminosi emessi da un punto della retina, verrebbero ad incrocicchiarsi dopo di avere attraversato dall' indietro all'avanti i mezzi diottrici oculari.

Nell'occhio tipo (emmetropo), questi raggi uscirebbero al davanti della cornea paralleli fra loro. L'inclinazione sul loro asse essendo nulla, il foco coniugato della retina va a formarsi all'infinito, cioè $R = \infty$., ed $\frac{1}{R} = \frac{1}{\infty}; \dots \frac{1}{\infty}$ indica il potere di refrazione oculare tipo, quello che corrisponde esattamente alla sede della retina nel foco principale.

Nell'occhio miope invece i raggi emessi da un punto f' della retina (fig. 56) escono al davanti dell'occhio convergenti fra loro. La distanza al davanti dell'occhio del punto dell'asse verso il quale convergono tutti i raggi del fascio luminoso, esprime adunque la distanza focale coniugata anteriore della retina; questa distanza verso la quale convergerebbero dei raggi emessi dalla retina e dirigentisi dall'indietro all'avanti è ugualmente la distanza al davanti della cornea, dalla quale devono divergere i raggi dirigentisi dall'aria alla retina per riunirsi su di questa. La distanza al davanti dell'occhio in cui trovasi il punto dal quale devono divergere i raggi per formare il loro foco sulla retina, indica nel medesimo tempo il limite *R* della visione distinta ed il grado di divergenza di questi raggi, ossia il grado di *miopia.*

La retina trovandosi nell'occhio miope, dietro il foco principale dell'apparecchio diottrico, sarebbe necessario, affinchè il foco dei raggi paralleli si portasse più indietro, cioè nella retina stessa, di diminuire il grado di refrazione oculare, di una quantità uguale al potere di rifrazione di una lente di un foco $= R$, ossia di una potenza rifrattiva $= \frac{1}{R}$. L'eccesso di rifrazione in un miope è adunque $= \frac{1}{R}$.

Supponiamo infatti che i raggi d'uscita dall'occhio abbiano una direzione parallela fra di loro, noi dovremmo aggiungere all'occhio un menisco convergente di una potenza di refrazione $= \frac{1}{R}$ per ricondurre il foco di questi raggi in *R*. Affinchè i raggi usciti paralleli al da-

vanti della cornea formino il loro foco in una distanza = R, per es. 40, 50 centimetri al davanti dell'occhio, sarebbe d'uopo d'aggiungere all'occhio un menisco convergente di un foco di 40, di 50 centimetri, ossia un potere di refrazione = centim. 1 : 40, 1 : 50,... 1 : R.

Nell'occhio ipermetropo i raggi d'entrata devono essere convergenti fra loro per formare il loro foco nella retina. Dei raggi emessi da un punto della retina e dirigentisi nell'aria dovrebbero, per conseguenza, uscire divergenti fra loro al davanti della cornea e non potrebbero formare alcun foco reale al davanti dell'occhio; il loro foco è virtuale e negativo, ossia questi raggi prolungati indietro verrebbero a riunirsi in una certa distanza dietro la cornea.

La distanza R indicando la distanza focale coniugata anteriore della retina dovrà pure essere negativa ed indicata col segno —; epperciò la potenza di refrazione oculare sarà $= - \frac{1}{R}$.

$- \frac{1}{R}$ esprime adunque nello stesso tempo ed il potere primitivo di refrazione dell'occhio ipermetropo, ed il grado dell'ipermetropia. Infatti, supponiamo la retina sita in — *F*, cioè al davanti di *F*, che è il foco principale (fig. 56):

I raggi per riunirsi nella retina dovranno, al loro giungere alla cornea, avere già la convergenza *n F*, per convergere in — *F* dopo la loro refrazione. Per condurre dei raggi paralleli verso il punto *F*, sarebbe evidentemente necessario di farli passare attraverso una lente convergente d'una potenza di refrazione $= \frac{1}{F}$; l'occhio adunque ha un difetto di refrazione od ipermetropia $= \frac{1}{F}$ in questa supposizione. Se per condurre i raggi paralleli sulla retina fosse necessario d'aggiun-

gere all'occhio una lente di una potenza di refrazione $= \frac{1}{60}, \frac{1}{36}, \frac{1}{24}$, ecc., l'ipermetropia sarebbe $= \frac{1}{60}, \frac{1}{36}, \frac{1}{24}, \frac{1}{R}$ e la refrazione confrontata con quella dell' occhio emmetropo sarà $-\frac{1}{60}, -\frac{1}{36}$ ecc.....

Alcuni esempi pratici chiariranno forse meglio l'esposizione che precede; supponiamo per un istante che l'adattamento sia stato paralizzato completamente coll'atropina in più occhi, di cui noi vogliamo esaminare il grado primitivo di refrazione.

In ognuno di questi occhi sprovvisti d'adattamento, noi troveremo una sola direzione dei raggi luminosi di entrata che sia compatibile colla formazione del loro foco nella retina, quella cioè che corrisponde al grado primitivo o *minimum* di refrazione. Supponiamo pure che la sensibilità della retina sia uguale in tutti.

Ad una distanza che possiamo considerare come infinita (5 o 6 metri) viene collocato un oggetto che deve servire di punto di mira, un carattere di stampa per es.; tale carattere deve essere il più piccolo che possa essere distinto nella distanza indicata.

Per un *visus normale* o tipo, il n° 20 della scala tipografica di Snellen va collocato a 20 piedi; questi caratteri non possono essere letti se il foco dell'oggetto non formasi precisamente nella retina (v. cap. V.)

Alcuni leggono tale carattere; in questi adunque il foco dei raggi luminosi paralleli (tale è sensibilmente la direzione reciproca che hanno i raggi che partono da ogni punto dell'oggetto) trovasi sulla retina. Allo stato di perfetto riposo di adattamento o *minimum* di refrazione la visione si fa con raggi luminosi paralleli. Tali occhi sono presi per *Tipo* di paragone e sono detti *Emmetropi*, *normali*.

Altri occhi non vedono distintamente gli stessi caratteri collocati alla medesima distanza, quantunque questi caratteri, come nel primo caso, appartengano al

numero che è in rapporto col grado di sensibilità della retina: in essi adunque esiste anomalia di refrazione (*ametropia*), che può essere di due specie diverse:

1° O la rifrangibilità (primitiva) dell'occhio è maggiore che nell'emmetropo, ed allora collocando al davanti dell'occhio una lente biconcava di un potere uguale all'eccesso di rifrangibilità, si neutralizza quell'eccesso, e la visione diviene distinta; ed il vetro biconcavo, necessario per permettere la lettura del carattere, misura l'eccesso di refrazione; il numero della lente adoperata indica eziandio la distanza alla quale dovrebbero essere avvicinati gli oggetti per essere veduti esattamente. Per esempio, la lente — $^1/_{20}$ permette la visione esattamente distinta di un carattere collocato in distanza *infinita*: i raggi luminosi paralleli hanno preso, nell'attraversare la lente divergente, una direzione tale che, prolungati in avanti, verrebbero a convergere verso una distanza di 20 pollici al davanti della lente, direzione che avrebbero dei raggi luminosi che partissero da un punto luminoso collocato a 20 pollici al davanti della medesima. Tali occhi sono detti *miopi*, *brachimetropi*. Il grado di miopia sarà determinato naturalmente o dal numero della lente biconcava colla quale è resa possibile la visione distinta con raggi paralleli, oppure dalla distanza in cui trovasi il limite R. Quindi se si parla di una miopia di $^1/_{20}$, $^1/_{30}$, $^1/_{60}$, queste cifre esprimono il grado di eccesso di rifrangibilità dell'occhio misurato dal numero della lente, o refrazione = $^1/_{20}$, $^1/_{30}$, $^1/_{60}$, che fu necessaria per annullare tale eccesso, cioè che è d'uopo di adoperare per dare ai raggi paralleli una direzione = 1: 20 1: 30" ecc. Oppure, se vuolsi, i raggi luminosi devono avere una inclinazione divergente verso l'occhio, come se venissero da un punto collocato a 20, 30, 60 pollici di distanza.

In realtà tale misura non è perfettamente esatta. La lente non fa parte del sistema dell'occhio, ma trovasi

ad una distanza al davanti dell'occhio da non trascurarsi e che vogliamo considerare di $^1/_2$ pollice. Il grado di divergenza preso dai raggi paralleli nell'attraversare la lente viene calcolato dalla lente stessa; ed i raggi si considerano convergere verso un punto sito a 20, 30, 60 pollici al davanti della lente, mentre in realtà convergono a 20 $^1/_2$, 30 $^1/_2$, 60 $^1/_2$ al davanti dell'occhio per essere questo sito $^1/_2$ pollice dietro la lente.

2° O il grado di rifrangibilità è in difetto: ed allora abbiamo l'*ipermetropia*.

La visione dell'oggetto è resa distinta coll'interposizione di una lente biconvessa. I raggi paralleli prendono un grado di convergenza proporzionato al numero o meglio al grado di rifrazione della lente, cioè convergono ad una distanza dietro la lente uguale al suo foco principale. Per es. i numeri delle lenti adoperate, 20, 30, 60, ecc., indicano il grado di convergenza che dovrebbero già avere i raggi al loro arrivare alla cornea, affinchè il foco di ogni punto dell'oggetto si formi sulla retina dopo la refrazione dei raggi nello attraversare i mezzi rifrangenti dell'occhio.

Lo stesso vetro indica il difetto di rifrangibilità oculare, cioè il grado dell'*ipermetropia.* La rifrangibilità è in difetto di una quantità uguale al potere di refrazione di cui gode una lente di una refrazione $= {}^1/_{20}{}''$, ${}^1/_{30}{}''$, ${}^1/_{60}{}''$; e se in confronto allo stato primitivo di rifrangibilità *tipo*, R (limite remoto o stato primitivo di rifrangibilità) era $= +{}^1/_{20}{}''$, $+{}^1/_{30}{}''$, $+{}^1/_{60}{}''$ pel miope, esso sarà di $-{}^1/_{20}{}''$, $-{}^1/_{30}{}''$, $-{}^1/_{60}{}''$ nell'ipermetropo. In realtà, come per il miope, R sarebbe $= -\frac{1}{19\,^1/_2}$, $-\frac{1}{29\,^1/_2}$ ecc., perchè il grado di convergenza che hanno i raggi dietro la lente va diminuito di $^1/_2$ pollice, se viene calcolato dalla sede della cornea che trovasi $^1/_2$ pollice dietro la lente.

Fin qui abbiamo supposto l' adattamento paralizzato completamente; la visione distinta non poteva effettuarsi

che per una direzione unica dei raggi luminosi, quella che corrisponde al limite R. dell'adattamento. Ed infatti, come vedremo più tardi, è necessario talvolta operare in questo modo: diremo anzi fin d'ora, che non si può avere una misura esatta dell'ipermetropia senza paralizzare l'adattamento.

Se l'esperimento è fatto senza che l'adattamento sia stato paralizzato, ognuno intenderà facilmente che il limite R sarà determinato nella miopia dalla lente biconcava del grado minimo di rifrangibilità colla quale sarà possibile la lettura: ed invece il grado d'ipermetropia sarà indicato dalla lente biconvessa del grado massimo di rifrangibilità, colla quale è letto il carattere.

Supponiamo infatti un nostro esaminando affetto d'ipermetropia $^1/_{30}$. Nelle nostre ricerche avremo trovato dapprima che è possibile la lettura del carattere collocato a 20 piedi (raggi paralleli); l'occhio mette già il suo adattamento in azione di una quantità $= {}^1/_{30}$, cioè per condurre sulla retina il foco dell'oggetto veduto esso deve aumentare il suo grado primitivo di rifrangibilità di una quantità uguale alla rifrazione impressa ai raggi luminosi da una lente di una rifrazione $= {}^1/_{30}$. Se invece ci serviamo di una lente $+ {}^1/_{60}$, l'adattamento messo in atto, cioè l'aumento di rifrangibilità oculare, non è più che della metà di quello che era nel primo esame (senza lente): $^1/_{30} - {}^1/_{60} = {}^1/_{60}$; ma non si è giunto ancora al riposo perfetto dell'adattamento. In una parola, non otteniamo riposo perfetto dell'occhio che armandolo della lente la più convessa, la più rifrangente, colla quale sarà possibile la visione, ed a ciò si arriva diminuendo progressivamente il grado della lente (per dire meglio, siccome le nostre lenti sono numerate in senso inverso della loro potenza di refrazione, aumentando il numero delle lenti, numero che indica la loro distanza focale).

Invece in una miopia di $^1/_{20}$, per esempio, se met-

tiamo una lente più divergente di — $^1/_{20}$, (supponiamo di — $^1/_{10}$), il grado di divergenza dei raggi luminosi sarebbe aumentato; ma coll' adattamento l' occhio vi supplisce aumentando il suo grado di rifrangibilità e vincendo l'eccesso di divergenza dei raggi. Col numero che indica minore grado di rifrangibilità, cioè colla lente che porta il numero più elevato (di un foco più lungo), l'occhio è ricondotto allo stato di perfetto riposo, da cui bisogna sempre partire per misurare il grado delle anomalie dalla refrazione primitica o statica.

Per la stessa ragione si dovrà accertare che l'occhio che legge all'infinito è emmetropo, non già coll'interposizione di lenti biconcave, che sarebbero neutralizzate dall'adattamento, sibbene con lenti biconvesse, che rendono impossibile la visione, poichè l'emmetropo non può vedere con raggi convergenti.

La formola tanto semplice di Donders offre talvolta delle difficoltà nelle sue applicazioni pratiche. La lente di 1 pollice di foco viene scelta, come dissi, per tipo di potere rifrattivo. Tutte le lenti contenute nelle nostre *serie* di prove, hanno una distanza focale maggiore di 1"; inoltre *P*, *R* ed *A*, i quali colla formola di Donders rappresentano pure delle distanze focali, hanno sempre (salve pochissime eccezioni) un valore maggiore di 1". Siccome la potenza rifrattiva va calcolata in *ragione inversa* della distanza focale, cioè $= \frac{1}{f}$, ne avviene che le quantità di refrazioni colle quali abbiamo a calcolare devono essere minori dell'unità $(\frac{1}{1''})$ presa per tipo. Se per es. (vedi Tabella seguente, linea 4ª trasversale) vogliamo conoscere $\frac{1}{A}$ di un occhio, il cui punto *P* si trova

alla distanza di 2" 2/3, ed il punto *R* a 12" noi avremo $\frac{1}{A} = \frac{1}{2\,2\,3} - \frac{1}{12}$. La formola non potrebbe che difficilmente venire effettuata colla mente sola; essa richiede una serie di calcoli per la riduzione dei termini delle frazioni. La ragione di questa complicazione poggia evidentemente sul valore troppo elevato del tipo scelto per unità di refrazione.

Il sig. Giraud-Teulon ideò un processo molto ingegnoso, il quale permette di fare questi calcoli con numeri interi e non già con frazioni dell'unità.

Invece di prendere per unità di confronto la lente di potenza massima di refrazione, egli scelse questo tipo nella lente di massima lunghezza focale, contenuta nelle nostre *serie* di prove; anzi l'ultima lente delle nostre scatole avendo una distanza focale di 108 pollici, egli scelse per tipo di refrazione una lente di un foco due volte maggiore, ossia = 216". Diciamo *r* la potenza di refrazione di questa lente di 216" di foco: ..... una lente di 108" di foco avendo una distanza focale di metà minore, la sua potenza di refrazione sarà due volte maggiore della prima, ossia = $2r$; nella lente di 54" di foco la potenza refrattiva sarà = $4r$.

Operando con questo tipo di refrazione, noi avremo adunque da operare sempre con numeri *intieri* di refrazione, poichè abbiamo le frazioni nelle distanze focali.

Nella tabella che segue ho cercato di mettere in confronto questo processo di Giraud-Teulon col metodo scolastico. Le cifre superiori indicano da sinistra a destra la serie crescente delle distanze focali *f*, e nel medesimo tempo i numeri delle lenti, queste essendo generalmente distinte nella nostra serie di prove dalla lunghezza del loro foco. Il potere di refrazione di una lente essendo = $\frac{1}{f}$ e la lente di 1" di foco essendo presa per tipo, la refrazione nelle lenti indicate sarà in questa parte superiore della tabella calcolata = 1: la distanza focale indicata, per es. 1:2, 1:2 $^{1}/_{4}$ ...... 1:∞. Perciò il valore progressivo

della refrazione di queste lenti diverse dovrà essere letto in senso inverso, cioè da destra a sinistra. La serie più superiore indica la divisione in $\frac{12}{24}$ delle quantità di refrazione che si trovano nelle lenti comprese fra la lente di refrazione $= \frac{1}{\infty}$ e la lente di potenza rifrattiva $= 1/2$; ..... Cosichè fra una lente di 2" ed una lente di $2\frac{2}{11}$ di foco, la differenza di $\frac{1}{r} = \frac{1}{24}$ ecc..... Questa è una divisione creata dal Donders e che è di un vantaggio immenso per le dimostrazioni pratiche, siccome più tardi lo vedremo. La serie delle cifre che trovansi alle estremità superiori delle linee perpendicolari della tabella indicano le distanze focali delle lenti contenute nelle scatole ordinarie (francesi) delle lenti di prove. Le frazioni intermedie indicano le differenze di $\frac{1}{f}$, o la diversità di refrazione che passa fra le due lenti vicine; gli spazi che separano i numeri di queste lenti sono proporzionate a questa differenza di refrazione, ad imitazione del sistema immaginato dal Dottore Javal nella costruzione del suo regolo. Al di là di ∞, le distanze focali sono negative e rappresentano le direzioni convergenti; ogni spazio rappresenta una potenza rifrattiva $= \frac{1}{24}$.

Nella parte inferiore della tabella la lente di 216" di foco è presa per tipo od unità di potenza di refrazione, e si potrà leggere da destra a sinistra la serie progressivamente crescente delle quantità di refrazione. Gli spazii che separano 0 da 1, e questo da 2 rappresentano l'uno e l'altro $1r$, cioè un'unità di refrazione; nelle altre cifre e negli spazii che li separano sono indicate le quantità di refrazione, e la differenza di refrazione che passa fra uno spazio e l'altro. Una serie di linee punteggiate più inferiori indica la divisione in 17 parti uguali delle quantità di refrazione comprese nello spazio che corre fra 0 e 108 refrazioni, cioè la divisione proposta da Giraud-Teulon. Per conoscere a che lente corrisponde

la quantità di refrazione espressa nella tabella inferiore non si avrà che a leggerla nella parte superiore della tabella ed all'estremità superiore della linea corrispondente alla detta quantità di refrazione. Per esempio 0 refrazione corrisponde alla lente di foco $= \infty$, ... $1r$ corrisponde alla lente di 216" di foco, ... $2r$ indica la potenza di refrazione della lente di 108" di foco, ... 216 della parte inferiore indica la quantità di refrazione della lente di 2" di foco della parte superiore della medesima linea.

Le linee trasversali rappresentano l'estensione dell'adattamento in varii occhi; le loro estremità corrispondono ai limiti dell'adattamento. Questo metodo grafico per dimostrare l'adattamento ed i suoi limiti appartiene al P. Donders.

Vuolsi conoscere nell'occhio primo l'estensione dell'adattamento, si può calcolarla colla formola:

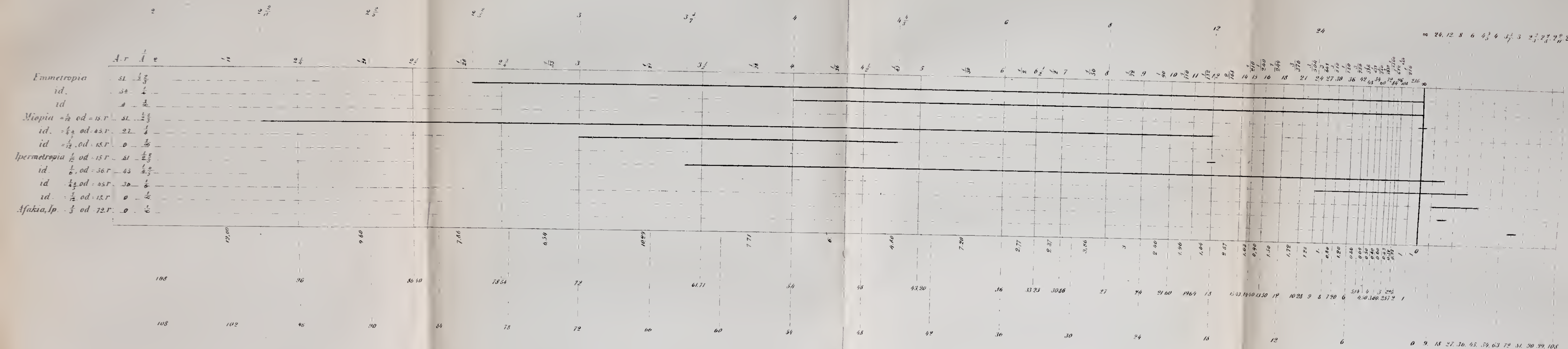
$$\frac{1}{A} = \frac{1}{2\,2|3}\left(\frac{1}{P}\right) - \frac{1}{\infty}\left(\frac{1}{R}\right) = \frac{1}{2\,2{,}3},$$

oppure, servendosi delle quantità di refrazioni indicate nella parte inferiore delle linee, vediamo che $A = 81r$ $(P) - 0r$ $(R) = 81r$.

Se poi vogliamo ridurre secondo la formola di Donders il valore ottenuto con questo secondo processo, noi cerchiamo nella parte superiore della tabella a che distanza focale corrisponde il n° letto nella parte inferiore; 1 diviso da questa distanza focale sarebbe il risultato della formola di Donders. Nel caso indicato, $81r$ della parte inferiore della tabella corrisponde a $2\ ^2/_3$ nella parte superiore, ed $\frac{1}{A} = \frac{1}{2\,2{,}3}$.

Nell'occhio n° 5, $P = 72r$, ed $R = 45r$.... $P - R = 27r$. Si cerchi nella tabella inferiore il n° 27, l'estremità superiore della linea corrispondente indica una distanza focale $= 8$.... adunque $\frac{1}{A} = \frac{1}{8}$.

Tab.I



Emmetropia
id.
id
Miopia
id.
id
Ipermetropia
id.
id
id.
Afakia, Ip.

Torino, ...